

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA**

ALLAN FELIPPE RODRIGUES CAETANO

Neurônios espelho e seus reflexos sobre a neurociência da linguagem

São Paulo
2023

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA**

ALLAN FELIPPE RODRIGUES CAETANO

Neurônios espelho e seus reflexos sobre a neurociência da linguagem

(versão corrigida)

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Rômulo Monte Ferreira. Departamento de Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia.

Coorientador: Prof. Dr. Marcello Modesto dos Santos. Departamento de Linguística da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.

São Paulo
2023

Allan Felipe Rodrigues Caetano

Neurônios espelho e seus reflexos sobre a neurociência da linguagem. 2023.

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: _____ / _____ / _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Inicio meus cumprimentos à sabedoria da vida que me guia no caminho do conhecimento e do autoconhecimento. Reconheço que não é fácil percorrer a via dos estudos sem o devido apoio e suporte material, físico, emocional e psicológico. Por isso, meu profundo agradecimento a minha mãe que para mim simboliza o vértice psi, e para meu pai que representa o nível físico do corpo. Ambos me ajudaram e me fortaleceram durante meu percurso de autodesenvolvimento intelectual e profissional. Para equilibrar o corpo e a mente frente os desafios das obrigações da vida acadêmica precisei desenvolver e consolidar a disciplina que aprendi com meu irmão e seu espírito de legionário. Logo, meus cumprimentos iniciais são para minha família que me proporcionou os devidos recursos objetivos e subjetivos que me permitiram desenvolver a liberdade de ser quem sou.

Quero fazer um agradecimento especial ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo em particular ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento (NeC), com sede no Departamento de Psicologia Experimental pelo suporte material e financeiro que me permitiram ampliar as possibilidades de pesquisa e conhecer pessoas magníficas que me enriqueceram intelectualmente durante cinco anos. Também reconheço e agradeço a valia do apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) concedido a mim (processo 88882.376522/2019-01), sem o qual eu não poderia cumprir integralmente com meus deveres de pesquisador de pós-graduação. Agradeço também à Universidade de São Paulo em particular à Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas que durante cinco anos de graduação me proporcionou conhecer mentes brilhantes que iluminaram minha visão sobre o universo do conhecimento. Devo confessar que minha formação em Letras e minha diplomação em Psicologia, especificamente em neurociências ampliou meu horizonte de conhecimento de forma que me sinto privilegiado por beber da fonte de diversos saberes. Creio que o leitor pode perceber a singularidade da formação intelectual pelo estilo da escrita redigido na tese.

Gostaria de deixar registrado que o trabalho de pesquisa da tese foi estruturado, desenvolvido e concretizado antes, durante e depois da pandemia de Covid-19, durante a polarizada eleição de 2022, além da copa do mundo de futebol, e por fim, mediante o Carnaval de 2023. Portanto, foi um desafio manter o foco e a disciplina frente contextos tão difíceis e adversos.

Agradeço meu orientador, Francisco Rômulo Monte Ferreira. Nosso contato acadêmico começou quando eu estava residindo no sul da França, sua confiança depositada em meu interesse de pesquisa ainda descrito por e-mail indicava que além de orientador seríamos bons amigos. Reconheço seu profissionalismo acadêmico como exemplo a ser lembrado. Muito obrigado pelas orientações, recomendações, ensinamentos e o respeito de sempre.

Agradeço meu coorientador, Marcello Modesto. Seu conhecimento linguístico potencializou minha pesquisa de doutoramento. Muito obrigado pelo apoio no desenvolvimento do tema do trabalho e pela confiança depositada em meu entusiasmo científico.

Estendo meus profundos agradecimentos ao meu parceiro de aventura intelectual, professor Dr. MD. Avelino Luiz Rodrigues. Cinco anos realizando pesquisas acadêmicas e articulando reflexões multidisciplinares que perpassam pelos saberes da psicologia, neurociências, psicanálise e medicina. Muito obrigado por apresentar e ensinar a relevância e a preciosidade do conhecimento em psicossomática. Muito obrigado pela orientação como coordenador do Laboratório de Pesquisa Sujeito e Corpo – SuCor, “Grupo interdisciplinar de Estudos e Pesquisas em Psicossomática”. Também devo agradecer pela experiência adquirida durante um ano de trabalho voluntário no Hospital Universitário, HU-USP, sob sua supervisão. Sempre vou lembrar da sua clareza intelectual e do tratamento humanístico que me inspiram a continuar em busca de novas aventuras nos horizontes dos conhecimentos.

Faço um agradecimento especial ao professor Noam Chomsky, Instituto de Tecnologia de Massachusetts - MIT, que desde nossas primeiras

conversas demonstrou interesse no tema da minha pesquisa e me motivou a seguir em frente. Sua simplicidade e educação, juntamente com suas orientações sublimaram minha visão científica que foi impulsionada pelo curso “Language, Mind and Brain” realizado na modalidade on-line pela Universidade do Arizona como convidado do professor Chomsky. Também devo agradecer aos professores Thomas Bever e Massimo Piattelli-Palmarini pelo acolhimento e acompanhamento durante a realização do curso que foi um divisor de águas na minha vida intelectual e profissional.

Agradeço igualmente aos professores George Lakoff (Universidade da Califórnia - Berkeley); David Poeppel (Universidade de Nova York); Angela Friederici (Instituto Max Planck - Alemanha); Friedemann Pulvermüller (Freie Universität - Berlin); Michael Tomasello (Instituto Max Planck); Cedric Boeckx (Universidade de Barcelona); Vittorio Gallese (Universidade de Parma - Itália); Michael Arbib (Universidade da Califórnia – San Diego); Sydney Lamb (Universidade de Rice – Houston, Texas); Marco Tettamanti (Universidade de Milano-Bicocca – Itália); Alec Marantz (Universidade de Nova York), Antonio Damasio (Universidade da Califórnia), pela troca de mensagens, sugestões e envio de materiais de referências bibliográficas que ajudaram a construir minha tese de doutorado.

Por fim, agradeço aos meus amigos e amigas de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Santa Catarina, França, Bélgica, Itália, Áustria, Alemanha e Estados Unidos que mesmo estando longe ou perto me apoiaram.

In memoriam do meu querido e amado pai.

RESUMO

Caetano, Allan. F. R. (2023). Neurônios espelho e seus reflexos sobre a neurociência da linguagem. Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A neurociência da linguagem pesquisa a relação estrutural e funcional entre o cérebro e a linguagem. Os substratos neurobiológicos das línguas naturais recebem, processam e transmitem códigos linguísticos que são processados pelo sistema sensorial, motor e cognitivo do falante/ouvinte. Este trabalho propõe uma reflexão teórica sobre como o conhecimento da neurociência da linguagem pode ser co-interpretado com a teoria da linguagem de Chomsky a partir dos neurônios espelho. Citamos e exemplificamos problemas empíricos e teóricos com base no pressuposto que os neurônios espelho medeiam o processamento de informações fonéticas, semânticas e sintáticas. Propomos uma abordagem computacional como meio de investigar a faculdade da linguagem sob a perspectiva da neurolinguística. Sugerimos como estratégia de pesquisa que a análise por síntese e a inferência bayesiana podem esclarecer a natureza das operações linguísticas mediadas pelos neurônios espelho. Concluimos que a faculdade da linguagem é irreduzível a organização estrutural e funcional dos neurônios espelho.

Palavras-chave: Neurociências. Neurolinguística. Neurônios espelho. Linguística. Psicologia.

ABSTRACT

Caetano, Allan. F. R. (2023). Mirror neurons and their reflections on the neuroscience of language. Institute of Psychology, University of São Paulo, São Paulo.

Language neuroscience researches the structural and functional relationship between the brain and the language. The neurobiological substrates of natural languages receive, process and transmit linguistic codes that are processed by the speaker/listener's sensory, motor and cognitive systems. This work proposes a theoretical reflection on how the knowledge of language neuroscience can be co-interpreted with Chomsky's theory of language based on mirror neurons. We mention and exemplify empirical and theoretical problems based on the assumption that mirror neurons mediate the processing of phonetic, semantic and syntactic information. We propose a computational approach as a means of investigating the faculty of language from a neurolinguistic perspective. We suggest as a research strategy that the analysis by synthesis and Bayesian inference can clarify the nature of linguistic operations mediated by mirror neurons. We conclude that the faculty of language is irreducible to the structural and functional organization of mirror neurons.

Keywords: Neurosciences. Neurolinguistics. Mirror neurons. Linguistics. Psychology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura citológicas e camadas corticais.....	28
Figura 2 - Divisão do córtex cerebral humano em 52 áreas segundo Brodmann (1909).	29
Figura 3 - Mapa citoarquitetônico proposto por von Economo e Koskinas (1925).	30
Figura 4 - Quatro mapas citoarquitetônicos do córtex frontal agranular de símios.	35
Figura 5 - Localização espacial dos setores F1, F2, F3, F4, F5 no complexo da área 4 e 6.	36
Figura 6 - Desenhos de cortes laminados corados pela técnica de Nissl.	37
Figura 7 - Esquema da localização do setor F5.....	41
Figura 8 - Exemplo de um único neurônio F5 disparando seletivamente mediante a observação ou realização de uma ação manual.	46
Figura 9 - Esquema da relação funcional entre os NE do STS e do setor F5.	50
Figura 10 - Mapa somatotópico do córtex agranular frontal esquerdo.	54
Figura 11 - Vista mesial e lateral do cérebro de símios em (1) e vista lateral do lobo frontal humano em (2).	65
Figura 12 - Correlação entre uma ação voluntária e sua manifestação motora segundo o modelo de Liepmann.....	81
Figura 13 - Fotografia do conselheiro imperial.....	87
Figura 14 - Organização estrutural e funcional do ato de escrever.	91
Figura 15 - Circuitos de NE na área de Broca no córtex cerebral do emissor e receptor.	94
Figura 16 - Homologia funcional entre a área de Broca e a área 6 (setor F5), segundo a apraxia ideomotora.....	97
Figura 17 - Esquema das diferenças entre o setor F5 e a área de Broca.	99
Figura 18 - Esquema dos estágios da produção da fala.	110
Figura 19 - Esquema da organização de sistemas computacionais.....	119
Figura 20 - Esquema da taxonomia funcional tricotômica.	122
Figura 21 - Esquema geral da teoria modular da mente.	131
Figura 22 - Esquema geral da teoria modular da mente.	143
Figura 23 - Esquema geral do movimento cognitivista e pós-cognitivista.	148
Figura 24 - Organização somatotópica do córtex motor e redes semânticas.	157
Figura 25 - Simuladores perceptivos.	162
Figura 26 - Distribuição topográfica da representação semântica.....	166
Figura 27 - Teias topográficas da representação semântica bi-hemisférica.	167
Figura 28 - Mecanismos neurobiológicos da semântica incorporada.....	170
Figura 29 - Dimensão linear e hierárquica da sintaxe.	179
Figura 30 - Organização estrutural e funcional da linguagem.	181
Figura 31 - Organização estrutural e funcional da neurobiologia da linguagem.	183
Figura 32 - Organização neuroanatômica dos feixes de fibras que processam a sintaxe.	184
Figura 33 - Ativação cortical do processamento semântico de sentenças hierarquicamente embutidas.....	186

Figura 34 - Comunicação acústica e gestual do símio e do humano.	188
Figura 35 - Comunicação manual entre gorilas. Tocando outro animal.	189
Figura 36 - Comunicação manual entre gorilas. Balançando as mãos.	189
Figura 37 - Sintaxe e semântica da ação.	195
Figura 38 - Desenvolvimento dos estágios da gramática da ação.	196
Figura 39 - Produção de ferramentas Oldowan e Acheulean e os correlatos neurobiológicos das ações.	204
Figura 40 - Sintaxe operativa aplicada na produção de uma ponta de pedra lascada.	207
Figura 41- Hierarquia de ações executadas na indústria lítica Oldowan.	209
Figura 42- Hierarquia de ações executadas no início da indústria lítica Acheulean.	210
Figura 43 - Sequência de ações incorporadas em uma ação habitual.	211
Figura 44 - Exaptação neural da sintaxe de ação para a sintaxe da linguagem.	213
Figura 45 - Esquema geral da sintaxe.	218
Figura 46 - Sistema subjacente de regras generativas.	231
Figura 47- Circuito da fala.	236
Figura 48- Duas faces da unidade do signo.	238
Figura 49- Acoplagem dos pensamentos e dos sons por intermédio da língua.	239
Figura 50 - Programa de pesquisa da gramática da linguagem.	254
Figura 51 - Diagrama da máquina de sentenças.	256
Figura 52 - Diagrama da máquina de sentenças com loop.	256
Figura 53 - Diagrama de árvore.	258
Figura 54 - Arranjo tripartite das gramáticas.	259
Figura 55 - Estrutura geral da gramática.	260
Figura 56 - Organização estrutural da gramática gerativo-transformacional.	261
Figura 57 - Esquema da competência e performance da gramática gerativa.	262
Figura 58 - Mediação dos sinais de entrada e saída pelo dispositivo da linguagem.	264
Figura 59- Modelo de aquisição da linguagem.	266
Figura 60 - Maturação do trato de fibras dorsal e ventral no cérebro da criança ao adulto.	275
Figura 61 - Desenvolvimento dos circuitos neurais da linguagem.	277
Figura 62 - Órgão da linguagem no córtex cerebral da mãe e do bebê em período de gestação.	282
Figura 63 - Genética de neuroimagem.	288
Figura 64 - Substrato neural da computação sintática.	291
Figura 65 - Tractografia tridimensional de fibras dorsais do córtex cerebral humano.	293
Figura 66 - Feixes de fibras axonais no córtex cerebral humano e no símio.	294
Figura 67 - Massa branca de mielina no córtex cerebral humano.	295
Figura 68 - Arquitetura da linguagem segundo o Programa Minimalista.	305
Figura 69 - Imitação comunicativa em animais.	311
Figura 70 - Esquema geral da Faculdade da Linguagem.	313
Figura 71 - Fluxograma das bases de dados e seus resultados.	322

Figura 72 - Fluxograma dos resultados da primeira e segunda triagem.	322
Figura 73 – Gráfico de pizza ilustrando o conjunto de 1297 artigos encontrados nas cinco bases de dados.	323
Figura 74 - Representação em pizza da primeira triagem.	323
Figura 75 - Representação em pizza da segunda triagem.	324
Figura 76 - Capa do Jornal Americano de Frenologia.	342
Figura 77 - Ilustração da barra de ferro e a posição da perfuração.	344
Figura 78 - Homúnculo sensorial e motor.	347
Figura 79 - Organização do mapa tonotópico do sistema auditivo.	348
Figura 80 - Capa da revista Nature.	350
Figura 81 - Arquitetura dos fios das fibras brancas do encéfalo.	351
Figura 82 - Ramificações da explicação pluralista.	357
Figura 83 - Três níveis de análise e explicação de sistemas complexos.	360
Figura 84 - Níveis da Teoria Computacional de Marr aplicados à pesquisa em neurolinguística.	364
Figura 85 - Entrada de códigos acústicos da fala e sua representação virtual.	374
Figura 86 - Nível implementacional da produção e percepção da fala.	377
Figura 87 - Etapas de processamento dos códigos linguísticos da fala segundo o modelo da análise por síntese.	387
Figura 88 - Mapa cortical da organização espacial da área de Broca.	402
Figura 89 - Níveis de análise e explicação segundo a teoria de Marr aplicados a correlação genética-cérebro-linguagem.	407

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais tipos de afasia.	73
Quadro 2 - Manifestações da apraxia.	89
Quadro 3 - Áreas com características de NE.....	330
Quadro 4 - Demonstrativo da seleção língua materna em inglês.....	332
Quadro 5 - Demonstrativo da seleção língua materna em italiano.....	333
Quadro 6 - Demonstrativo da seleção língua materna em alemão e japonês.....	333
Quadro 7- Demonstrativo da seleção língua materna em francês.	334
Quadro 8 - Demonstrativo da seleção língua materna em chinês.....	334
Quadro 9 – Demonstrativo da seleção gênero.	334
Quadro 10 – Conjunto de conceitos elementares da linguística e das neurociências.	391

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Giro Anelante
AI	Sulco Arqueado Inferior
AS	Sulco Arqueado Superior
C	Sulco central
Ca	Fissura Calcarina
Cg	Sulco Cingulado
CM	Computação mínima
cTBS	Estimulação magnética transcraniana contínuo- depressivo
EMT	Estimulação magnética transcraniana
FA	Fascículo arqueado
FEF	Campo Ocular Frontal
FL	Faculdade da Linguagem
FLA	Faculdade da linguagem no sentido amplo.
FLE	Faculdade da linguagem no sentido estreito.
GST	Giro temporal superior
GU	Gramática Universal
IF	Sulco Frontal Inferior
IFG	Giro frontal inferior
IFG	Giro Frontal Inferior
IFOF	Fascículo fronto-occipital inferior
IO	Sulco Occipital Inferior
IP	Sulco Intraparietal
IPa	Sulco Pré-central Inferior
Ipd	Sulco Pré-central inferior
iTBS	Estimulação magnética transcraniana intermitente
imTBS	Estimulação magnética transcraniana intermediária
L	Fissura Lateral

Lu	Sulco Semilunar
Ma	Milhões de anos
MGF	Giro Frontal Médio
MIT	Instituto de Tecnologia do Massachusetts
MPE	Potenciais motores evocados
MTG	Giro temporal médio
NE	Neurônio Espelho
OT	Sulco Occipitotemporal
P	Sulco Principal
Pifg	Giro frontal inferior
PM	Programa Minimalista
Pos	Sulco Parieto Occipital
SF	Sulco Frontal Superior
SFG	Giro Frontal Superior
SNC	Sistema Nervoso Central
SNE	Sistema de Neurônio Espelho
SNs	Sintagmas nominais
SP	Sulco Pré-Central Superior
ST	Sulco Temporal Superior
STS	Sulco Temporal Superior
UF	Fascículo uncinado
V	Verbo

LISTA DE SÍMBOLOS

$M\Omega$	Megaohm
kHz	Quilohertz
μm	Micrómetro
ms	Milissegundo
Hz	Hertz
μA	Microampère
Σ	Somatório
α	Alfa
β	Beta
$\sqrt{\quad}$	Raiz
Hz	Hertz
$\%$	Porcentagem
$+$	Símbolo matemático de adição
mm^3	Milímetros cúbicos
mseg	Milissegundos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO – ESTRUTURA DA PESQUISA	18
CAPÍTULO 1 – PANORAMA HISTÓRICO	22
1.1 Panorama histórico sobre a correlação estrutural e funcional entre o cérebro e a linguagem.	22
1.2 Técnicas e tecnologias aplicadas ao exame científico da organização estrutural e funcional do encéfalo.	25
1.3 Organização citoarquitetônica do córtex cerebral	28
CAPÍTULO 2 - DESCOBERTA DOS NEURÔNIOS ESPELHO	33
CAPÍTULO 3 – SUBSTRATOS NEURAIS DOS SONS DA FALA.....	62
3.1 Neurônios espelho e fonética	62
3.3 Apraxia.....	72
3.4 Teoria motora da percepção da fala.	98
3.5 Teoria modular da mente aplicada a fonética	116
CAPÍTULO 4 - NEURÔNIOS ESPELHO E SEMÂNTICA	141
CAPÍTULO 5 - NEURÔNIOS ESPELHO E SINTAXE	176
CAPÍTULO 6 – O UNIVERSO DA LINGUÍSTICA.....	220
6.1 Panorama histórico sobre a ciência da linguagem	220
6.2 - Teoria da linguagem de Noam Chomsky.....	248
CAPÍTULO 7 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	316
CAPÍTULO 8 – NEUROCIÊNCIA E LINGUÍSTICA	339
CONCLUSÃO.....	412
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	419
GLOSSÁRIO	451

INTRODUÇÃO – ESTRUTURA DA PESQUISA

A linguagem é uma das faculdades mais importantes para a espécie humana. Através dela é possível lembrar do passado, pensar no presente e planejar o futuro. O mistério sobre sua natureza motivou inicialmente a elaboração de explicações teológicas e filosóficas. No entanto, foram os linguistas quem delinearam a linguagem como um objeto de estudo científico. Sua natureza simbólica e material exemplifica a complexidade dos mecanismos que subjazem seu processamento. A tarefa do neurolinguista em pesquisar, conhecer e explicar a correlação entre o cérebro e a linguagem requer a cooperação de pesquisadores de outras áreas do conhecimento. Portanto, esse trabalho de investigação científica requereu um esforço multidisciplinar que articulou diferentes saberes empíricos e teóricos que ajudassem a esclarecer a natureza estrutural e funcional da linguagem.

O estudo neurocientífico da linguagem apresenta desafios empíricos e teóricos. Apesar da importância da realização de experimentos com primatas não humanos, a linguagem é exclusivamente humana. Logo, é preciso aperfeiçoar técnicas e tecnologias não invasivas e invasivas que possam elucidar a organização estrutural e funcional da linguagem no cérebro humano. Além disso, os dados devem ser interpretados mediante um arcabouço teórico que consiga conciliar ao menos o conhecimento das neurociências, da linguística e da psicologia sem que uma disciplina seja reduzida a outra.

Nessa tese, objetivamos pesquisar, interpretar e explicar como o conhecimento neurocientífico sobre a linguagem é co-interpretado com a teoria linguística elaborada por Chomsky. Devido o grande volume de células neurais recrutadas mediante o processamento de informações linguísticas, escolhemos os neurônios espelho (NE), como um ponto de partida para investigar os substratos neurobiológicos da linguagem. Também decidimos inserir a revisão sistemática sobre essa classe de neurônios e sua correlação funcional com os componentes fonético, semântico e sintático após termos descrito, interpretado e refletido sobre como os NE foram correlacionados com essas interfaces. Compreendemos que o posicionamento escolhido para o capítulo da revisão sistemática na estrutura da tese facilita o entendimento do leitor previamente

preparado pelos capítulos anteriores. Por ser um trabalho de pesquisa multidisciplinar, e pensando nos diferentes leitores, buscamos estabelecer uma linguagem simples, mas que não fosse simplista ao ponto de esvaziar o conteúdo histórico e conceitual dos termos empregados. Além disso, nos esforçamos para manter e fazer uso dos conceitos empregados por cada autor pesquisado e examinado, e quando necessário intercalamos com termos vigentes da literatura.

A estrutura da tese aqui defendida configura-se da seguinte forma: no primeiro capítulo apresentamos um panorama histórico sobre a correlação estrutural e funcional entre o cérebro e a linguagem. Juntamente com considerações preliminares sobre técnicas e tecnologias utilizadas nas pesquisas em neurociências, assim como a elaboração dos primeiros mapas anatomofuncionais do cérebro.

No segundo capítulo descrevemos a descoberta dos NE no córtex cerebral de símios e reportamos suas características estruturais e funcionais que direcionaram a elaboração de hipóteses teóricas relacionadas a linguagem.

O terceiro capítulo é composto por cinco subcapítulos que retratam a correlação entre os NE e a fonética. Primeiro fazemos uma breve introdução sobre a organização geral do capítulo. No segundo subcapítulo descrevemos e analisamos a homologia entre a região onde foram descobertos os NE (área 6 – setor F5) no córtex pré-motor de símios e a área de Broca no córtex cerebral humano. No próximo subcapítulo abordamos o distúrbio neurocognitivo da apraxia e suas manifestações que aludem as características (des)funcionais dos NE. No quarto subcapítulo retomamos a teoria motora da percepção e produção da fala que juntamente com o último subcapítulo comporta a descrição e análise da correlação entre os NE e a fonética.

No quarto capítulo apresentamos e examinamos a correlação entre os NE e a semântica. Descrevemos as hipóteses defendidas pelo movimento da cognição incorporada e sua influência sobre a teoria da semântica incorporada do qual os NE participam do processamento e da simulação do sentido semântico de palavras relacionadas a partes do corpo, ações corporais e percepções sensório motoras.

No quinto capítulo descrevemos e analisamos como os NE são atribuídos a sintaxe. Esclarecemos dois vértices da sintaxe, seu sentido estrito associado ao processamento cognitivo da linguagem, e o amplo correlacionado a sintaxe de ação da qual os NE compõem o substrato neurobiológico da mesma. Também apresentamos e examinamos como o conhecimento da neuroarqueologia esclarece a correlação evolutiva entre a sintaxe de ação e a sintaxe linguística. Além disso, constatamos que a sintaxe no sentido amplo se assemelha as hipóteses do movimento da cognição incorporada da qual os NE participam da codificação da organização sequencial da sintaxe linguística.

No sexto capítulo apresentamos um panorama histórico sobre o universo da linguística. Familiarizamos o leitor com o trabalho de autores clássicos e conceitos tradicionais da ciência da linguagem. No subcapítulo 6.2 descrevemos e examinamos a teoria da linguagem elaborada e desenvolvida por Chomsky. Retomamos seus trabalhos iniciais e progredimos até suas publicações mais recentes que transpassam pelo programa minimalista. Além disso, intercalamos novos conhecimentos e resultados de dados obtidos por pesquisas realizadas no campo da neurolinguística.

O capítulo sete apresenta a revisão sistemática da literatura que objetiva conhecer como os dados empíricos da neurociência da linguagem, em particular os experimentos com NE no córtex cerebral humano são correlacionados e interpretados à luz da teoria da linguagem de Chomsky.

No último capítulo pesquisamos, conhecemos e refletimos sobre como o campo do conhecimento da neurociência da linguagem se correlaciona com a linguística. Relatamos historicamente como os primeiros mapas funcionais do cérebro foram elaborados e como a interpretação causal dos mesmos ainda repercute na análise dos dados produzidos por imagens computadorizadas do cérebro. Exemplificamos a partir dos NE como a correlação entre localização neuroanatômica e funcionalidade é interpretada de forma reducionista e sua repercussão teórica sobre as pesquisas em neurolinguística. Além do problema dos mapas, descrevemos e exemplificamos com base nos NE, o problema de ligação conceitual que aproxima e correlaciona conceitos com origens epistemológicas diferentes, ou seja, como o vocabulário neurocientífico é vinculado e co-interpretado com o arcabouço conceitual da linguística. Por fim,

recomendamos o emprego da teoria computacional elaborada por David Marr como um meio de orientar as pesquisas em neurolinguística devido a característica multidimensional da linguagem. Além disso, sugerimos que a estratégia metodológica da análise por síntese e a inferência bayesiana podem esclarecer a natureza funcional dos NE mediante operações da linguagem. Por fim, apresentamos três *insights* sobre como co-interpretar os dados empíricos dos experimentos em neurolinguística com os NE e a teoria da linguagem de Chomsky.

No capítulo de conclusão da tese recapitulamos as principais ideias descritas e analisadas. Salientamos estratégias de pesquisas para futuros trabalhos, apontamos dificuldades e limites que podem motivar a elaboração de caminhos alternativos que ajudem a ampliar a investigação científica sobre a correlação estrutural e funcional entre os NE e a linguagem.

CAPÍTULO 1 – PANORAMA HISTÓRICO

1.1 Panorama histórico sobre a correlação estrutural e funcional entre o cérebro e a linguagem.

O primeiro relato escrito sobre a correlação entre o ato de falar e uma área do córtex, encontra-se no antigo livro de trauma cirúrgico conhecido como papiro cirúrgico de Edwin Smith¹, cuja escrita é estimada ao século XVII antes de Cristo, Catani e De Schotten (2012). No verso do papiro constam notas sobre o tratamento e prognóstico que são atribuídos aos ensinamentos do médico e sumo sacerdote Imhotep, Breasted (1930 apud Catani e De Schotten, 2012). Consta no documento que o paciente número vinte ficava sem palavras durante a palpação da área cortical do cérebro que ficou exposta pela fratura. Vale mencionar que o termo “sem palavras” corresponde etimologicamente ao conceito de afasia, que pode ser definido como um distúrbio na compreensão e produção da linguagem falada, da qual foi causada por uma determinada lesão no tecido cortical (Damásio, 1992). Séculos depois a mesma região documentada no papiro ficou conhecida como área de Broca. Segundo o neurocientista laureado com o prêmio Nobel de Medicina no ano 2000, Eric Kandel², a mesma situa-se na região posterior do lobo frontal esquerdo, “[...] próximo à região da área motora que controla movimentos da boca e da língua” (Kandel, trad., 2012/2014, p. 11).

Na segunda metade do século XIX, o neurologista francês Paul Pierre Broca³, identificou através de exames *post-mortem* que a região posterior do lobo frontal esquerdo, posteriormente reconhecida com seu nome, seria a sede da linguagem falada. No ano de 1864, ao analisar oito pacientes com lesões na mesma área, Broca anunciou que “[...] nós falamos com o hemisfério esquerdo”⁴ Broca (1863, *apud* Kandel 2014, p. 8), enfatizando assim sua compreensão de que aquela região cortical seria responsável pela produção da linguagem falada. Cabe mencionar que Broca fundou a neuropsicologia como um campo científico

¹ Edwin Smith (1822 – 1906), foi um egiptólogo e colecionador de antiguidades (Kamp et al., 2012).

² Eric Kandel nascido em 1929.

³ Paul Pierre Broca nascido em 1824, falecido.

⁴ Trecho original: “[...] nous parlons avec l’hémisphère gauche”.

que investiga os processos mentais a partir da observação clínica de pacientes que continham alguma lesão nas circunvoluções do córtex, e não mais sobre as protuberâncias da cabeça como inferia o anatomista alemão Franz Joseph Gall⁵, e sua teoria da Frenologia. Afinal, Broca escreveu em 1861, “[...] eu acreditava que, se houvesse uma ciência frenológica, seria a frenologia das circunvoluções (no córtex), e não a frenologia dos calombos (na cabeça)” (Broca, 1863, apud Kandel et al., 2014, p. 8, parênteses do autor).

No ano de 1876, o neuropatologista alemão Carl Wernicke⁶, constatou outro tipo de disfunção da linguagem. Uma falha da compreensão e não da pronúncia em outra região diferente de Broca, ou seja, a parte posterior do lobo temporal esquerdo, a qual seu nome foi associado. Segundo (Kandel, trad., 2012/2014, p. 11), “A área de Wernicke situa-se próximo ao córtex auditivo primário e ao giro angular, combinando sinais de entrada auditivos com informações de outros sentidos”. Aliás, a partir da experiência clínica, Wernicke inferiu que a linguagem é processada separadamente pela área motora de Broca e pela região sensorial investigada por ele. De acordo com Kandel e colaboradores (Ibidem, p. 10), o trabalho de Wernicke foi considerado “[...] o primeiro modelo neural coerente para a linguagem”. Vale citar que segundo esse modelo:

“[...] os passos iniciais no processamento neural da palavra falada ou escrita ocorrem em áreas sensoriais separadas do córtex, especializadas em informação visual ou auditiva. Essa informação é então retransmitida para uma área cortical associativa, o giro angular, especializado no processamento de informação tanto visual quanto auditiva [...] de acordo com Wernicke, palavras faladas ou escritas são transformadas em um código sensorial neural, compartilhado tanto pela fala quanto pela escrita. Essa representação é retransmitida para a área de Wernicke, onde é reconhecida como linguagem e associada a seu significado. Essa informação também é retransmitida para a área de Broca, que contém as regras, ou gramática para transformar a representação sensorial em uma representação motora que possa ser percebida como linguagem falada ou escrita. Quando essa transformação de representação sensorial em motora não ocorre, o

⁵ Franz Joseph Gall, nascido 1758 em 1828.

⁶ Carl Wernicke, nascido em 15 de maio de 1848, em Tarnowitz, falecido em 15 de junho de 1905.

paciente perde sua capacidade de falar e escrever” (Ibidem, 2014, p. 10 – 11).

Próximo ao fim da década de 1950, o neurocirurgião canadense Wilder Penfield⁷, e posteriormente o professor norte americano de neurologia George Ojemann⁸, reexaminaram as hipóteses de Broca e Wernicke com base em novas técnicas e conhecimentos advindos de casos clínicos de traumatismo cranioencefálico. Os pesquisadores utilizaram durante uma operação de neurocirurgia para tratar epilepsia, um neuroestimulador cortical para aplicar estímulos elétricos no tecido cerebral do paciente consciente, permitindo assim testar a funcionalidade da linguagem e inferir sua localização neuroanatômica. Para ilustrar a técnica vale citar o seguinte trecho:

“Durante cirurgias encefálicas para tratar epilepsias, é pedido a pacientes acordados com anestesia local que designassem objetos (ou que usassem a linguagem de outras formas), enquanto diferentes áreas do córtex exposto eram estimuladas com pequenos eletrodos. Quando uma área do córtex era crucial para a linguagem, a aplicação de estímulos elétricos bloqueava a capacidade do paciente de designar os objetos” (Ibidem, 2014, p. 12, parênteses do autor).

Além de confirmar a atividade elétrica de células neurais localizadas nas áreas descritas por Broca e Wernicke, os pesquisadores constataram através da mesma técnica que outros sítios corticais também são recrutados mediante a funcionalidade da linguagem. Por exemplo, Ojemann descobriu que “[...] a ínsula, uma região que se situa nas profundezas da área de Broca”, também é encarregada pelo processamento funcional da linguagem (Ibidem, 2014, p. 12). De modo geral, as primeiras correlações estruturais e funcionais entre o cérebro e a linguagem foi elaborado com base em exames clínicos de pacientes com algum tipo de lesão cranioencefálica ou doença neurológica.

⁷ Wilder Penfield, nascido 1891 falecido em 1976.

⁸ George Ojemann, nascido em 1935.

1.2 Técnicas e tecnologias aplicadas ao exame científico da organização estrutural e funcional do encéfalo.

Vale salientar que as primeiras pesquisas sobre os correlatos neuroanatomofuncionais da linguagem decorreram de casos de lesão em diferentes sítios encefálicos.

“Lesões de diferentes regiões do encéfalo podem resultar em defeitos cognitivos bastante específicos. Desse modo, as consequências comportamentais das lesões encefálicas expressam muito acerca da função de vias neurais específicas. Estudos com lesões mostraram que a cognição é o produto de diversos sistemas especializados, cada um deles com muitos componentes. Por exemplo, o sistema visual tem vias especializadas para o processamento de informação sobre cor e forma, por um lado, e sobre movimento por outro” (Ibidem, 2014, p. 329).

Além disso, no início da década de 1980 novas técnicas e tecnologias permitiram examinar a organização estrutural e funcional do encéfalo de um paciente *in vivo* (Friederici, 2017). Atualmente, o volume de dados produzidos por diferentes ferramentas tecnológicas utilizadas nas pesquisas em neurociências vem se acumulando. Os pesquisadores dispõem de exames não invasivos como a ressonância magnética funcional (fMRI), que mede alterações no fluxo sanguíneo do encéfalo que indica o volume de oxigênio recrutado para atividade neural. A técnica utiliza a emissão de radiofrequências que são convertidas em imagens computadorizadas da atividade metabólica das células neurais. A resolução espacial pode chegar a alguns milímetros, enquanto a resolução temporal alcança a ordem de segundos (Mazzola, 2009). Outro recurso tecnológico é a estimulação magnética transcraniana (EMT), que permite através da emissão de pulsos magnéticos sobre o escalpo cabeludo estimular ou inibir o funcionamento de uma área do córtex cerebral. Sua resolução espacial é da ordem de um centímetro (Angiolipoma, 2004). Além dessas, existe a eletroencefalografia (EEG), que consegue medir a atividade elétrica de grandes populações de neurônios usando eletrodos colocados sobre o escalpo cabeludo. A resolução temporal alcança a ordem de milissegundo enquanto a espacial alguns centímetros. Aliás, em pacientes submetidos a

neurocirurgia, os registros de EEG podem ser feitos diretamente no tecido cortical, essa técnica é conhecida como eletrocorticografia (ECoG). Além de facilitar a localização da atividade neural, a mesma fornece uma alta resolução temporal e espacial (Singsank, 2015). Por fim, a tomografia por emissão de pósitrons (PET), é um método de imagem hemodinâmico. O exame mede a atividade encefálica por meio de alterações do fluxo sanguíneo. Por exemplo, quando os neurônios de uma área estão em atividade o fluxo de sangue aumenta de acordo com a demanda metabólica. Em um exame de PET, um marcador radioativo que pode ser o oxigênio-15, é introduzido na corrente sanguínea do paciente, conseqüentemente as regiões metabolicamente ativas do encéfalo recebem uma maior concentração do traço radioativo que é visualizado através do PET. Sua utilidade permite conhecer diferentes compostos como a glicose ou certos neurotransmissores que permitem diferentes medições. Afinal, sua resolução espacial é da ordem de um centímetro enquanto a temporal está na escala de minutos (Cherry e Dahlbom, 2004)

Vale mencionar que o processamento de dados oriundos dessas e de outras tecnologias está se tornando cada vez mais rápido a partir do uso de supercomputadores. A utilização de computadores de alta performance permite combinar diferentes informações experimentais. Segundo (Kandel, trad., 2012/2014, p. 329):

“[...] estudos comportamentais detalhados, como, por exemplo, o estudo psicofísico de um ato específico de percepção, a análise combinada pode ajudar a caracterizar as propriedades de um sistema. Assim, a psicofísica pode descrever o que o sistema é capaz de fazer, enquanto a modelagem computacional pode descrever como as propriedades de células constituintes podem explicar as propriedades do sistema dos circuitos neurais envolvidos”.

Além disso, a troca de dados em nuvem facilita o desenvolvimento de programas e de modelos estatísticos. Por exemplo, a modelagem de redes neurais permite testar o funcionamento de “[...] amplas redes neurais que, em princípio, são capazes de funções mentais superiores” (Ibidem, 2014, p. 329). Assim como averiguar hipóteses “[...] acerca dos papéis de componentes específicos dos circuitos neurais no encéfalo em determinados comportamentos” (Ibidem, 2014, p. 329). Afinal, o aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias

aplicadas ao estudo científico do encéfalo e suas partes pode ser constatado pelo desenvolvimento histórico de certas ferramentas como a fMRI, que possuía muitos ruídos, mas que agora dispõe de programas de tratamento de imagem que propiciam visualizar uma miríade de detalhes no encéfalo vivo.⁹

Além das ferramentas citadas vale mencionar a importância das pesquisas científicas no campo da neurogenética que investiga o papel da expressão gênica das células neurais no desenvolvimento estrutural e funcional do encéfalo. Segundo Miazaki, (2012, p. 25):

“[...] as famílias de genes envolvidos nos processos de desenvolvimento e regionalização celular [esclarecem] os processos nas quais células precursoras dividem-se e originam neurônios que migram, se diferenciam e criam conexões sinápticas”¹⁰.

Afinal, além do conhecimento advindo de pesquisas sobre genes neurais, a investigação estrutural do tecido cortical do cérebro de animais e de seres humanos pode ser analisado a partir de estudos sobre a citoarquitetura cortical.

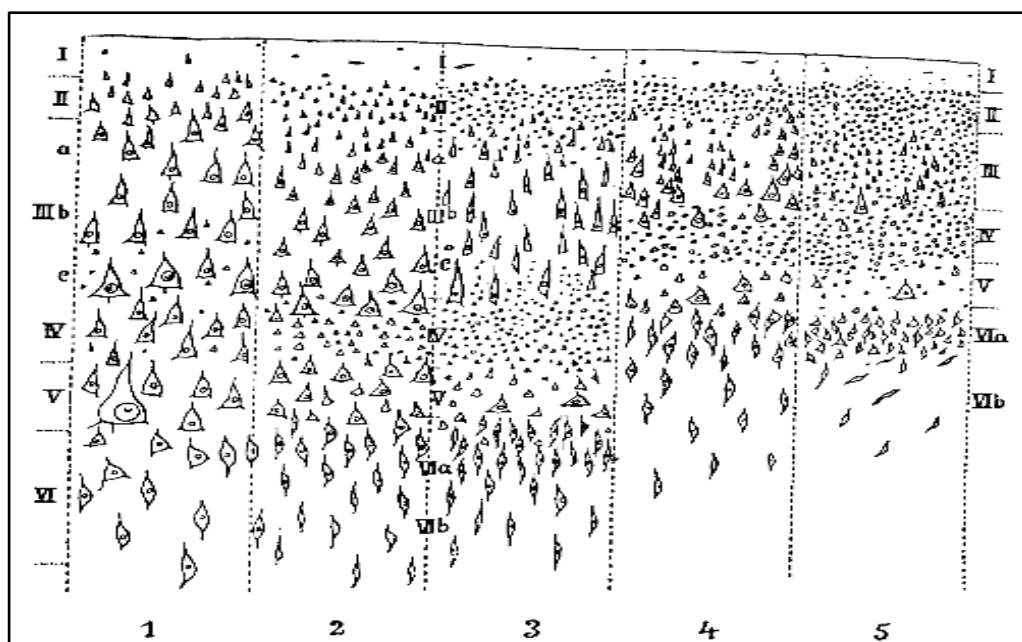
⁹ Para conhecer um projeto de mapeamento cerebral sugerimos o Projeto Conectoma Humano. Disponível em: <http://www.humanconnectomeproject.org/>. Acesso em: 06 out. 2022.

¹⁰ Trecho original: “[...] the families of genes involved in the processes of cellular development and regionalization, that is, processes in which precursor cells divide and give rise to neurons that migrate, differentiate and create synaptic connections”.

1.3 Organização citoarquitetônica do córtex cerebral

O método citoarquitetônico consiste no mapeamento de áreas do córtex cerebral por meio da aplicação de marcadores metabólicos como corantes de diferentes substâncias e cores. Por exemplo, o corante de prata, o corante vermelho, além de corantes fluorescentes que facilitam visualizar através do microscópio o arranjo citoarquitetônico das células neurais que estão empilhadas em camadas corticais (Kandel, trad., 2012/2014).

Figura 1 - Arquitetura citológicas e camadas corticais.



Fonte: von Economo (1929), apud Triarhou (2006, p. 231). Os números de um a cinco na parte inferior da imagem correspondem aos tipos de estrutura cerebral do córtex: 1. Agranular, 2. Frontal, 3. Parietal, 4. Polar, 5. Granular. Enquanto os algarismos romanos nas laterais do desenho (I-VI) determinam as lâminas das camadas corticais.

Segundo Triarhou (2007), o neuroanatomista e psiquiatra alemão Theodor Hermann Meynert¹¹, figura como pioneiro no mapeamento citoarquitetônico do córtex humano (Meynert, 1872). No começo do século XX, o neurologista australiano Alfred Walter Campbell¹², propôs que o córtex cerebral está segmentado em 14 áreas (Campbell, 1905). No entanto, seu compatriota, o anatomista Grafton Elliot Smith¹³, sugeriu com base em seu levantamento topográfico um total de 50 áreas corticais (Smith, 1907). Durante o século XX,

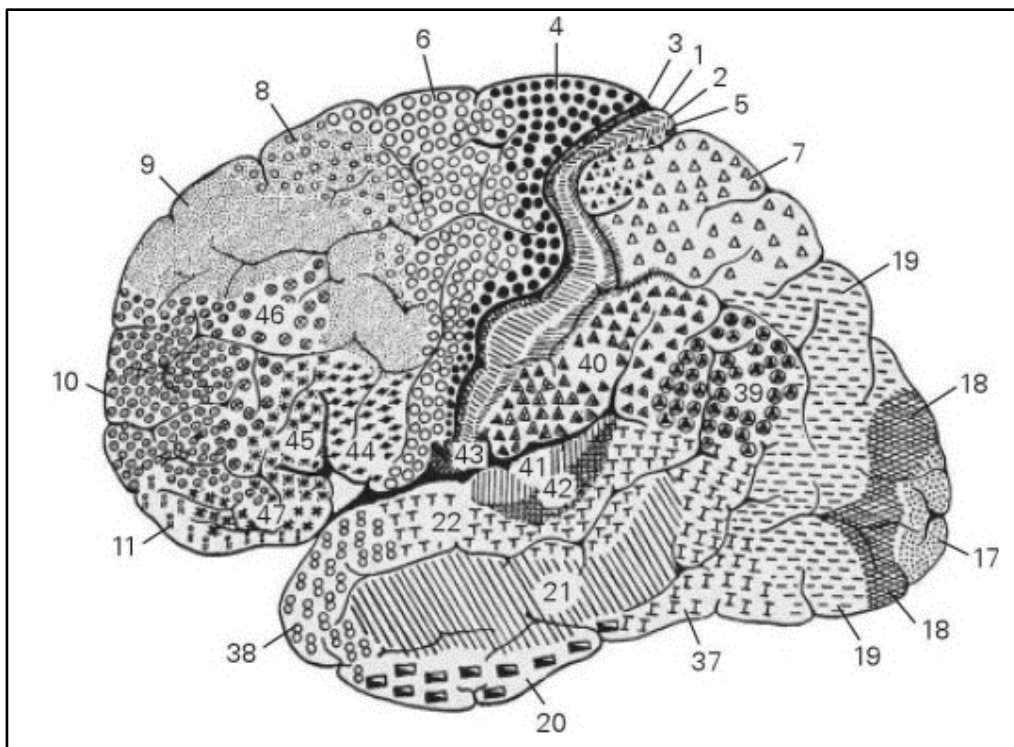
¹¹ Theodor Hermann Meynert, nascido em 1833, falecido em 1892.

¹² Alfred Walter Campbell, nascido em 1868, falecido em 1937.

¹³ Grafton Elliot Smith, nascido em 1871, falecido em 1937.

uma nova escola de localização cortical surgiu na Alemanha com o trabalho do neurologista e psiquiatra Korbinian Brodmann¹⁴, que inicialmente distinguiu 44 áreas a partir do exame microscópico do córtex (Triarhou, 2007). Brodmann elaborou seu próprio mapa citoarquitetônico com base nas características anatômicas dos neurônios e suas distribuições em camadas, o que lhe permitiu inferir a funcionalidade de diferentes áreas corticais (Brodmann, 1909).

Figura 2 - Divisão do córtex cerebral humano em 52 áreas segundo Brodmann (1909).



Fonte: (Kandel, trad., 2012/2014, p. 11). Os diferentes desenhos na superfície externa do córtex (pontos, círculos, linhas, triângulos, etc), representam as diversas formas anatômicas dos neurônios, assim como a organização estrutural em camadas celulares. Os números indicam as áreas funcionais segundo o arranjo citoarquitetônico de cada região.

Dezesseis anos após a publicação do mapa formulado por Brodmann foi lançado o “Atlas Citoarquitetônico do Córtex Cerebral do Humano Adulto”¹⁵ (von Economo e Koskinas, 1925), considerado um clássico da literatura neurológica. Além de definir 107 áreas corticais os autores são considerados pioneiros na identificação de sub-regiões que sugerem diferentes funções (Triarhou, 2007). Apesar de utilizarem um sistema de abreviações alfabéticas para identificar as

¹⁴ Korbinian Brodmann, nascido em 1868, falecido em 1918.

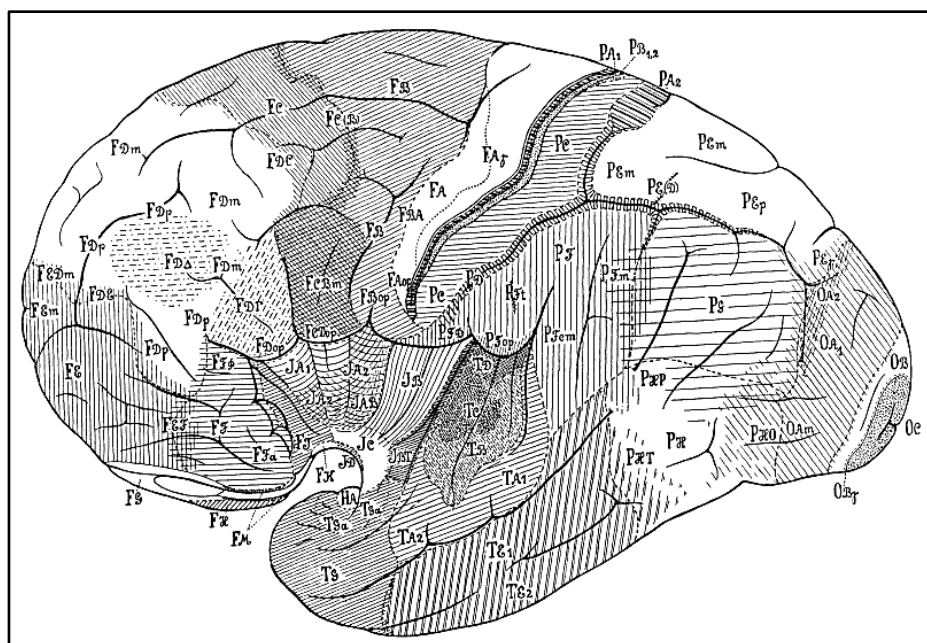
¹⁵ Título original: “Die cytoarchitektonik der hirnrinde des erwachsenen menschen”.

áreas, por exemplo: lobo frontal, código da área (FA - FM); Hipocampo (HA – HF), um dos autores menciona que:

“Nos últimos anos, fundamentos mais antigos passaram a ser apresentados sob novos nomes alienígenas, ou mesmo velados sob uma infinidade de neologismos como supostas novas descobertas. É por isso que em nossas análises preservamos na medida do possível divisões e nomes aceitos por autores anteriores e não introduzimos nenhum termo novo, a menos que corresponda a um fato novo”¹⁶ (Koskinas, 1931, apud Triarhou, 2007, p. 196).

Nesse sentido, o atlas citoarquitetônico de von Economo e Koskinas, preservou de modo geral as notações de Brodmann. Apesar de terem substituídos os números por letras, ou melhor, de terem sido combinados, os neurologistas conseguiram engrandecer o conhecimento sobre a organização citoarquitetônica do córtex cerebral humano.

Figura 3 - Mapa citoarquitetônico proposto por von Economo e Koskinas (1925).



Fonte: von Economo e Koskinas (1925), apud Triarhou (2008, p. 182.) (página originalmente indicada com algarismo romano). Os diferentes desenhos sobre a face mediana do cérebro ilustram a diversidade anatômica dos neurônios, assim como as características arquitetônicas das camadas celulares. Letras, símbolos e números correspondem as diferentes organizações estruturais e funcionais do tecido cortical.

¹⁶ Trecho original: “In recent years, older fundamentals happened to be presented under new alien names, or even veiled under a multitude of neologisms, as alleged new discoveries. That is why in our analyses we preserved, insofar as that was possible, divisions and names accepted by previous authors and did not introduce any new term, unless it corresponded to a new fact”.

Além dos mapas clássicos a emergência de novas técnicas e tecnologias permite produzir e visualizar mapas digitais do córtex cerebral de acordo com o nível estrutural e funcional de interesse. Por exemplo, existem técnicas de neurocartografia funcional que permite examinar a atividade metabólica dos neurônios *in vivo*, além de fornecer modelos tridimensionais sobre seu arranjo citoarquitetônico. Segundo (Kandel, trad., 2012/2014, p. 329):

“O uso de corantes sensíveis à voltagem e ao cálcio permitiu o estudo da atividade neuronal em grandes grupos de neurônios, tanto *in vitro* quanto nos encéfalos de animais ao desempenharem comportamentos. Mais recentemente, a utilização de canais iônicos sensíveis à luz permitiu a ativação ou a inativação de neurônios específicos ou de grupos de neurônios nos circuitos neurais de animais intactos ao desempenharem comportamentos”. [itálico nosso].

Além disso, é possível recorrer a análise de parcelamento do receptor citoarquitetônico que “[...] leva em consideração o tipo e a densidade dos neurotransmissores em uma determinada região”¹⁷ (Friederici, 2017, p. 9), ou então examinar a organização estrutural do córtex segundo o método da conectividade baseada no parcelamento que “[...] refere-se a uma análise que diferencia áreas corticais com base em suas conexões de fibras de substância branca com outras áreas do cérebro”¹⁸ (Ibidem, 2017, p. 9).

Em suma, o arranjo citoarquitetônico dos neurônios que compõem o córtex cerebral pode ser representado em forma de mapas produzidos a partir de diferentes técnicas e metodologias de pesquisa. No entanto, devido o volume de células neurais e as diferenças no nível macro e micro estrutural que cada córtex cerebral apresenta, é plausível que uma mesma área apresente diferenças anatômicas. Portanto, a representação neurocartográfica corresponde a um esboço geral da citoarquitetura das células neurais. Nesse sentido, compreendemos que os mapas citoarquitetônicos devem servir como uma fonte de consulta aos estudos sobre a organização estrutural do córtex cerebral tanto de animais quanto de humanos. Afinal, as diversas ferramentas

¹⁷ Trecho original: “[...] into consideration the type and density of neurotransmitters in a given region”.

¹⁸ Trecho original: “[...] refers to an analysis that differentiates cortical áreas on the basis of their white-matter fiber connections to other áreas in the brain”.

tecnológicas vêm ampliando o conhecimento sobre a organização estrutural das células neurais que possibilitam inferir suas funções em diferentes regiões corticais.

CAPÍTULO 2 - DESCOBERTA DOS NEURÔNIOS ESPELHO

A partir de técnicas não invasivas um grupo de pesquisadores italianos pode reconhecer no córtex pré-motor do cérebro humano “[...] um sistema neural que combina a observação e execução da ação”¹⁹ (Fadiga et al., 1995, p. 2609). A equipe de cientistas formado por Giacomo Rizzolatti, Vittorio Gallese, Giuseppe di Pellegrino e Luciano Fogassi, que na época trabalhavam no Instituto de Fisiologia Humana e na Clínica Neurológica da Universidade de Parma na Itália, reconheceram que algumas células localizadas no córtex pré-motor do cérebro humano apresentam uma organização estrutural e funcional semelhante aos NE, descobertos inicialmente por meio de técnicas invasivas no córtex pré-motor no cérebro de símios. É importante salientar que os NE foram primeiramente conhecidos a partir de ferramentas tecnológicas que permitem examinar a organização estrutural e o comportamento funcional de uma população neural ou simplesmente de uma única célula neural no córtex cerebral de primatas não humanos. A descoberta dessa classe de neurônios levou os pesquisadores a investigar a partir de técnicas não invasivas se existem células neurais com características estruturais e funcionais semelhantes no córtex cerebral humano. Vale mencionar que os NE foram investigados e encontrados em quatro espécies de Macaco Macaca, dentre eles estão a Macaca: menestrina, mulata, fasciulares e fuscata. Além disso, experimentos com chimpanzés (Hecht et al., 2013), macaco marmosets (Suzuki et al., 2015), e pássaros como o pardal do pântano, (Prather et al., 2008), também revelaram a existência de células neurais com características semelhantes aos NE.

Cabe deixar claro que o exame empírico do comportamento funcional de uma única célula neural, isto é, uma célula unitária, é inviável mediante o emprego de técnicas não invasivas como a neuroimagem ou com o uso de eletrodos. Portanto, as hipóteses teóricas sobre a organização estrutural e funcional dos NE no córtex cerebral humano são elaboradas em comparação com os resultados obtidos diretamente no córtex de símios. A propósito, primatas não humanos começaram a ser utilizados em pesquisas científicas a partir dos anos cinquenta devido as semelhanças anatômicas, fisiológicas, bioquímicas,

¹⁹ Trecho original: “a neural system matching action observation and execution”.

genéticas e comportamentais que viabilizam a elaboração de modelos teóricos e experimentais em humanos (Andrade, 2006). Por exemplo, ao pesquisar a atividade funcional de células neurais por meio de implantes de microelétrodos em uma população neural ou somente sobre uma única célula localizada em alguma área do córtex cerebral do animal, é possível inferir o *modus operandi* do neurônio localizado na mesma região, porém no córtex humano. Para ilustrar a importância das pesquisas com diferentes espécies vale acrescentar a seguinte citação: “A partir desses estudos com microelétrodos, pode-se compreender que os mecanismos de percepção são basicamente os mesmos em seres humanos, em macacos e mesmo em animais mais simples” (Kandel, et al., trad., 2012/2014, p. 329) Kandel (2014, p. 329).

No ano de 1992, o grupo de Parma coordenado pelo neurofisiologista Giacomo Rizzolatti²⁰, planejou uma pesquisa experimental com macacos da espécie nemestrina para “[...] estudar a atividade dos neurônios F5 em uma situação comportamental na qual pudéssemos separar as respostas associadas ao estímulo da atividade relacionada aos movimentos”²¹ (Di Pellegrino et al., 1992, p. 176). É importante deixar claro que os neurônios F5 estão localizados na “[...] área F5 dentro da área 6 de Brodmann, [que corresponde a] um setor do córtex pré-motor ventral de macacos” (Rizzolatti, Strick, apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 370). A área 6 é composta pelos setores ou áreas F1, F2, F3, F4, F5 (Matelli et al., 1985). A terminologia adotada por Matelli e colaboradores do qual inclui Rizzolatti foi formulada segundo a semelhança da localização espacial desses setores com as áreas citoarquitetônicas propostas pelos neurocientistas von Bonin e Bailey (1947), que empregaram o sistema de abreviações alfabéticas de von Economo e Koskinas (1925).

“Classicamente, o lobo agranular frontal dos primatas foi subdividido em duas grandes áreas citoarquitetônicas: área 4, contendo células

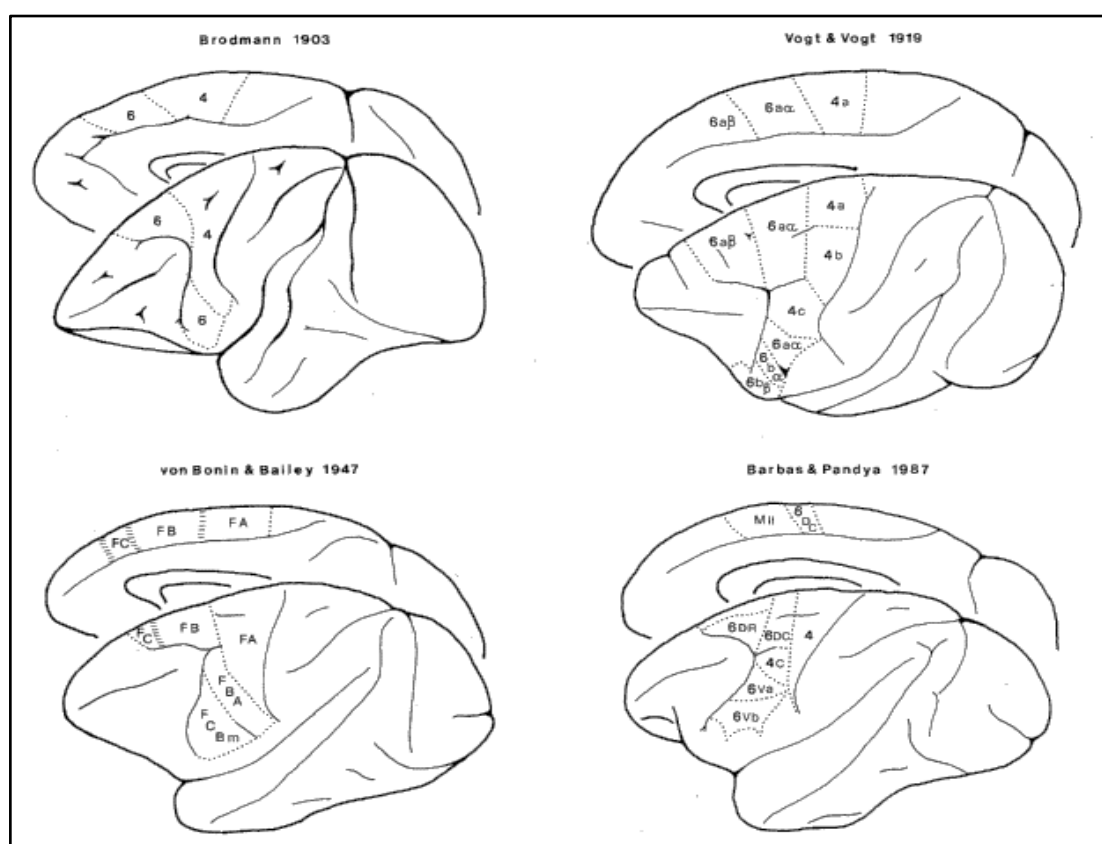
²⁰ Giacomo Rizzolatti, nascido em 1937.

²¹ Trecho original: “[...] our original aim in the present experiments was to study the activity of F5 neurons in a behavioral situation in which we could separate stimulus-associated responses from the activity related to movements”.

piramidais gigantes, e área 6, quase que completamente desprovida delas”²² (Brodmann, 1909 apud Gallese et al., 1996, p. 593).

Ambas as áreas compõem as principais áreas motoras: a região primária do córtex motor (área 4), e a região suplementar da área motora (área 6). Além disso, uma porção da área 6, corresponde a uma terceira área, a área pré-motora (Fulton, 1935 apud Gallese et al., 1996). As próximas imagens ilustram a organização espacial e estrutural de diferentes áreas no córtex cerebral de primatas não humanos.

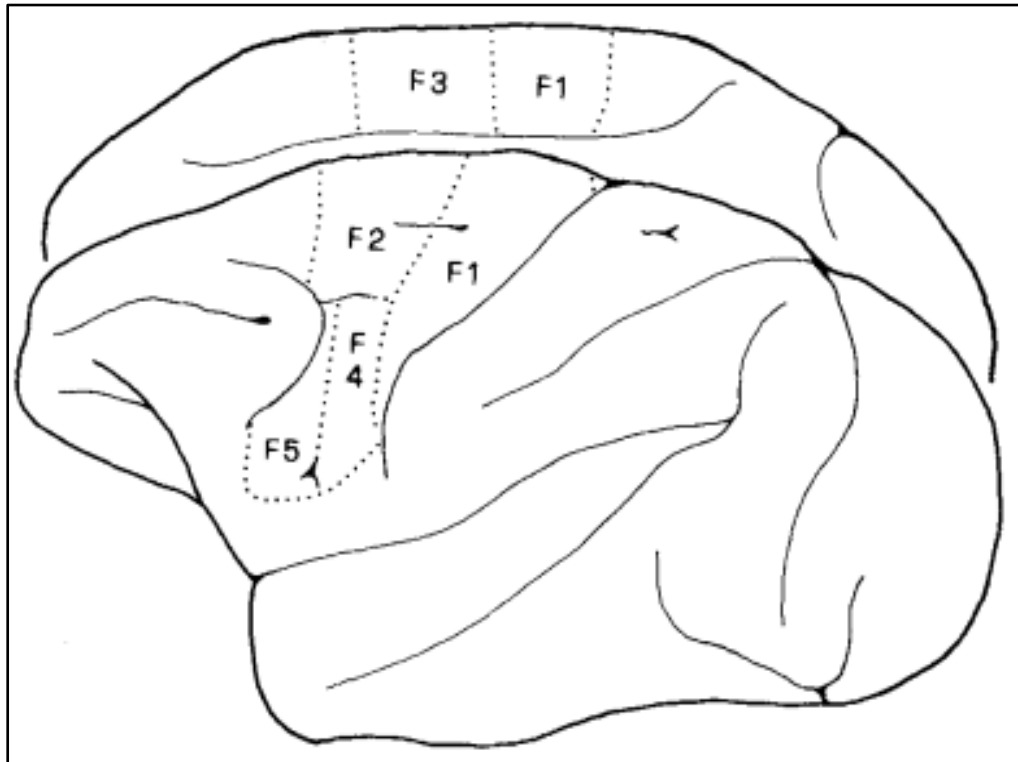
Figura 4 - Quatro mapas citoarquitetônicos do córtex frontal agranular de símios.



Fonte: Matelli et al., (1991, p. 446). Representação visual do lobo agranular frontal formado pelas áreas 4 e 6. As linhas pontilhadas indicam as fronteiras entre as áreas. Bordas hachuradas indicam transições entre as áreas marcadas segundo o mapa de von Bonin e Bailey (1947).

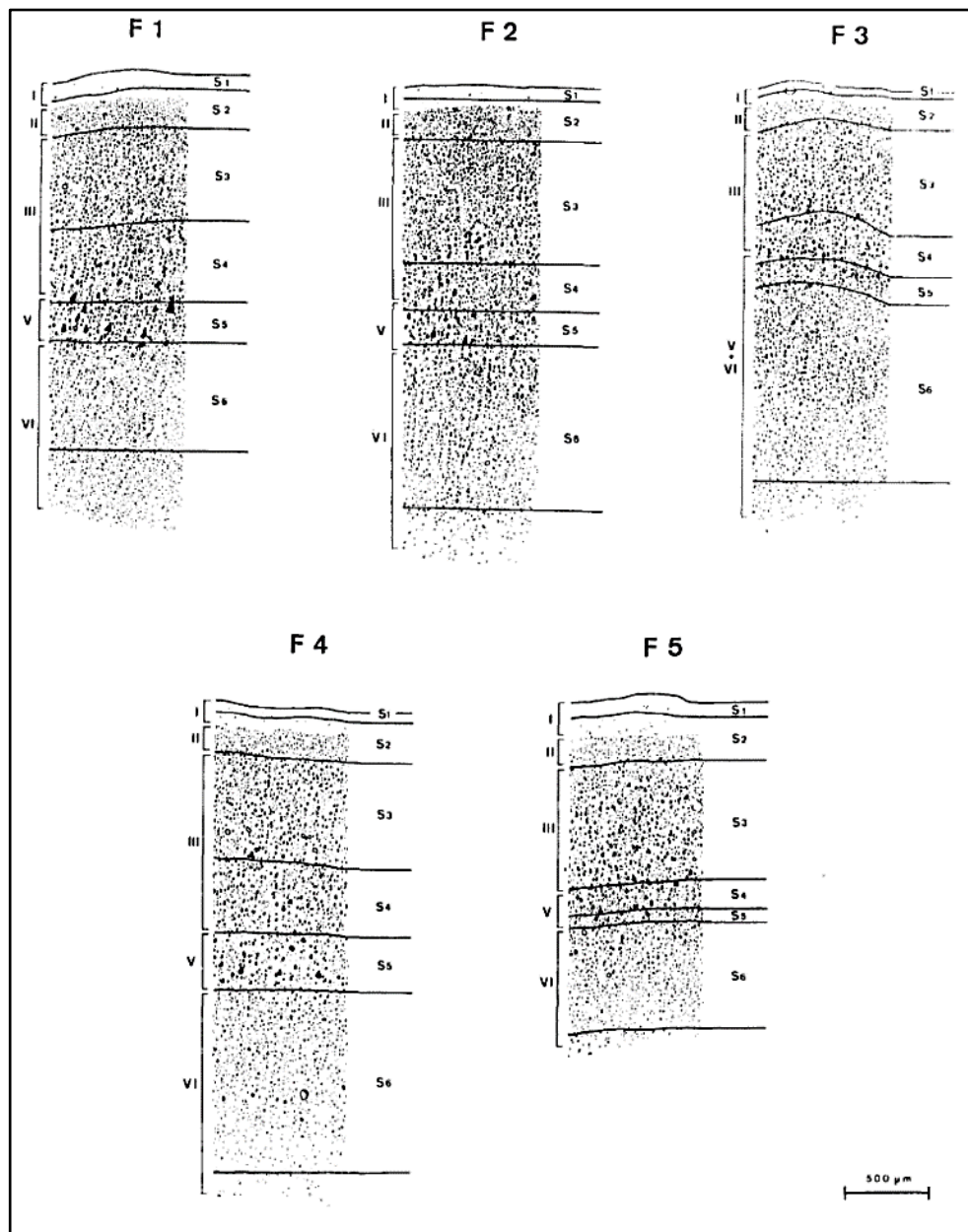
²² Trecho original: “Classically, the agranular cortex of the primate frontal lobe was subdivided into two large cytoarchitectonic areas: area 4, containing giant pyramidal cells, and area 6, almost completely devoid of them”.

Figura 5 - Localização espacial dos setores F1, F2, F3, F4, F5 no complexo da área 4 e 6.



Fonte: Matelli et al., (1991, p. 447). As linhas pontilhadas indicam os limites entre as áreas corticais. A técnica utilizada para identificar as regiões foi realizada com a enzima mitocondrial citocromo oxidase, uma enzima amplamente difundida no sistema nervoso. Sua concentração evidencia o padrão de distribuição laminar do tecido orgânico do córtex em forma de um mapa histoquímico.

Figura 6 - Desenhos de cortes laminados corados pela técnica de Nissl.



Fonte: Matelli et al., (1991, p. 132). Ilustração das camadas corticais e suas respectivas células neurais em diferentes áreas do complexo da área 6. Os números à esquerda indicam as camadas citoarquitetônicas. Os limites entre as bordas são marcados com uma linha contínua identificado com letras e números no canto direito da imagem.

A partir do avanço das pesquisas experimentais com símios, (Rizzolatti e Strick, apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 367), sugerem que os sistemas pré-motores são compostos por:

“[...] quatro áreas funcionalmente distintas que fazem e recebem conexões com a medula espinal. As duas áreas na superfície lateral são a área pré-motora lateral ventral e a área pré-motora lateral dorsal. [...] o córtex pré-motor ventral controla principalmente os movimentos

da boca e das mãos. A maioria de seus neurônios não dispara em associação a simples movimentos direcionados a um objeto. Eles apenas se tornam ativos durante ações direcionadas a um objetivo como agarrar, segurar ou manipular um objeto. Já as áreas na superfície medial são a área motora suplementar, localizada na parede medial da área 6 de Brodmann, e a área motora cingulada, um grupo de áreas motoras nas profundidades do sulco cingulado. Essas quatro áreas pré-motoras estão conectadas ao córtex motor primário. Além disso, da mesma forma que o córtex motor primário, cada área pré-motora tem neurônios que se projetam para o tronco encefálico, bem como neurônios que se projetam diretamente para a medula espinal. Portanto os movimentos voluntários são controlados por sinais descendentes de várias áreas corticais. Por essa razão, imagina-se que a tarefa de gerar movimentos dos membros seja subdividida em múltiplas subtarefas, cada uma planejada paralelamente por uma das várias áreas corticais motoras. Essas áreas pré-motoras também possuem densas conexões recíprocas com áreas de associação do córtex parietal posterior. A reciprocidade de tais conexões constituem circuitos visuomotores que medeiam diferentes tipos de comportamento motor orientados visualmente, como movimentos da boca, de alcançar com o braço e de preensão com a mão”.

Tendo em vista a colocação dos pesquisadores cabe mencionar que o sistema motor tanto de símios quanto de humanos por muito tempo foi reconhecido como um sistema passivo, ou seja, “[...] que executa as decisões tomadas pelas partes mais inteligentes do cérebro (Rizzolatti e Kalaska, apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 774). Segundo a hipótese tradicional:

“A percepção, a cognição e a ação [são] como funções distintas e organizadas de forma sequencial: um indivíduo percebe o mundo, reflete sobre a representação interna resultante do mundo e, finalmente, age. Essa perspectiva relega ao sistema motor o papel de um aparato passivo”. (Ibidem, 2014, p. 774).

De modo geral, considerando o conhecimento advindo das pesquisas sobre a organização estrutural e funcional da área motora no córtex cerebral de símios, juntamente com as bases neurobiológicas do sistema motor em humanos, podemos inferir que os substratos neurofisiológicos do sistema motor podem ser caracterizados como um sistema complexo. Em outras palavras, a organização estrutural e funcional do córtex motor é composto por diferentes

células que processam uma variedade de sinais ou códigos neurais que medeiam a percepção e produção de gestos/ações motoras. Vale especificar que utilizamos o termo código em consonância com (Gilbert apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 499) de que:

“[...] a periodicidade de potenciais de ação em si carrega a informação em uma espécie de código Morse. O código pode ser lido a partir do disparo sincrônico de diferentes conjuntos de neurônios ao longo do tempo. Em um instante, um grupo de células pode disparar junto, seguido pelo disparo sincrônico de outro grupo de células. Ao longo de uma única salva de potenciais de ação, uma única célula poderia participar de muitos desses conjuntos. Não se sabe ainda se a informação sensorial é representada dessa maneira, nem se o sistema nervoso transmite mais informações do que a representada pela frequência de disparos por si só”.

Além disso:

“O sistema nervoso, no entanto, não representa objetos inteiros pela atividade de neurônios individuais. Em vez disso, algumas células representam partes do objeto [ou características de uma ação], e um conjunto de neurônios representa um objeto inteiro. Cada membro do conjunto pode participar em conjuntos diferentes que são ativados por diferentes objetos. Esse arranjo é conhecido como *código distribuído*. Os códigos distribuídos podem envolver alguns ou muitos neurônios. Em qualquer caso, um código distribuído requer complexa conectividade entre as células que representam uma face e as que representam o nome e as experiências associadas com aquela pessoa” (Ibidem, 2014, p. 499, itálico do autor).

Além da visão clássica sobre o papel funcional do sistema motor no controle dos movimentos realizados por músculos axiais e proximais do corpo, é interessante mencionar que o exame funcional de uma única célula motora:

“[...] mostrou que o córtex pré-motor está envolvido também em funções “cognitivas”, como a codificação do espaço (Gentilucci et al., 1983), a extração de propriedades intrínsecas aos objetos (Jeannerod

et al., 1995), assim como na aprendizagem por associação²³ (Petrides, 1985), (Gallese et al., 1996, p. 593, aspas do autor).

Diante disso, podemos inferir que as células neurais localizadas no córtex pré-motor medeiam informações que perpassam pelo vértice sensorial, motor e cognitivo. Apesar de processarem sinais relacionados a diferentes sistemas, exames invasivos demonstram que o registro unitário de neurônios eletricamente ativos podem ser altamente específicos. Logo, existem células neurais que disparam somente quando há um determinado tipo de estímulo. Por exemplo, alguns neurônios no córtex pré-motor descarregam mediante movimentos específicos de preensão:

“[...] a preensão de precisão (segurar com o dedo indicador e o polegar, geralmente usada para objetos pequenos), preensão radial palmar (prender com a mão inteira, usada para objetos grandes) e preensão com os dedos” (Rizzolatti e Strick apud Kandel et al., trad. 2012/2014, p. 370, parênteses do autor).

A propósito, as células neurais:

“[...] podem disparar individualmente de forma seletiva em determinados estágios de um tipo de preensão. Alguns disparam durante toda a ação, outros durante a abertura dos dedos e outros, durante o fechamento dos dedos” (Rizzolatti e Kalaska apud Kandel et al., trad. 2012/2014, p.764).

Além de existir neurônios com características funcionais específicas, outros tipos de células neurais podem processar “[...] transformações sensório-motoras globais, como “sempre mover em um ângulo de 180 graus a partir do estímulo visual”” (Rizzolatti e Strick apud Kandel et al., 2012/2014, p. 365, aspas do autor).

Por fim, cabe acrescentar a seguinte citação:

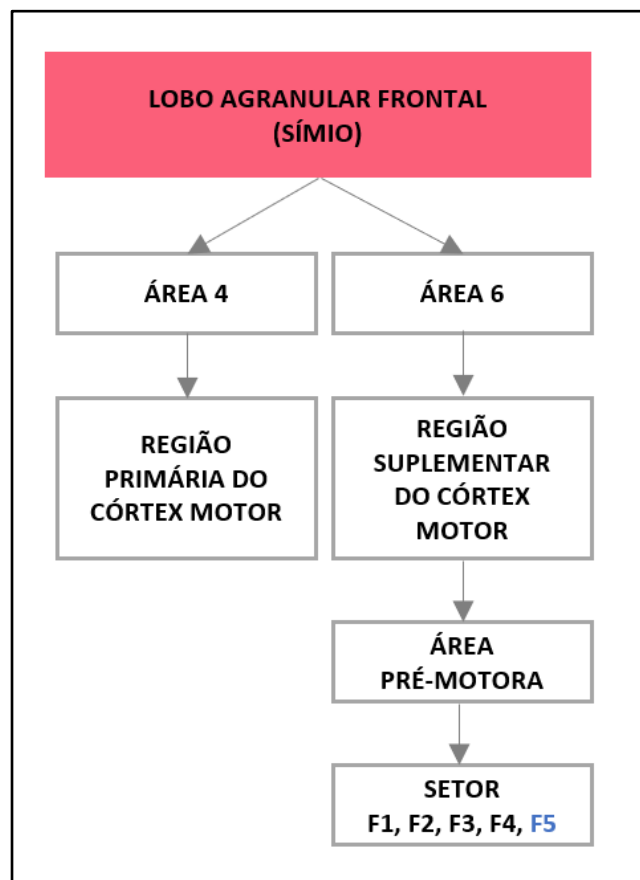
“Em níveis mais altos da interação sensório-motora, os neurônios não apenas codificam as características físicas do estímulo sensorial, a força ou a direção do movimento. Na realidade, eles codificam algo mais abstrato, que inclui características tanto do objeto quanto do

²³ Trecho original: “[...] showed that the premotor cortex is also involved in “cognitive” functions, such as the encoding of space, the extraction of properties intrinsic to objects, as well as learning by association”.

movimento: a relação entre o corpo e o objeto de acordo com um objetivo em particular. Por exemplo, em antecipação ao ato de beber, eles podem representar uma configuração da mão em relação às características da apreensão de um copo” (Ibidem, 2014, p. 364).

Tendo em vista a complexidade estrutural e funcional de uma única célula examinada no sistema neuromotor de símios e comparando com as hipóteses anatomofuncionais de células observadas indiretamente no córtex motor de humanos, compreendemos em consonância com Rizzolatti e Kalaska apud Kandel et. al, trad.2012/2014, p. 774) que, “Pesquisas contemporâneas indicam que a percepção, a cognição e a ação, não estão anatomicamente segregadas, nem são funcionalmente independentes”. Portanto, assumimos que o sistema motor não é um sistema passivo e seu funcionamento não se restringe a codificação de sinais relacionados ao planejamento de comandos motores. Por fim, elaboramos o seguinte esquema para ilustrar as hipóteses descritas e examinadas.

Figura 7 - Esquema da localização do setor F5.



Fonte: Produção do próprio autor.

Retomando o trabalho inaugural realizado pelo grupo de cientistas de Parma, o desenho experimental da pesquisa objetivou examinar a atividade elétrica de 184 células do córtex pré-motor, área 6 (setor F5), que foram analisadas individualmente mediante os seguintes comportamentos: quando o animal visualizasse um objeto dentro de uma caixa fechada e quando o mesmo animal podia ver e pegar o objeto dentro da mesma caixa. Segundo a descrição dos autores, os disparos neurais, quer dizer, o comportamento dos potenciais de ação emitidos por um único neurônio foi estudado da seguinte forma:

“Neurônios individuais foram registrados na área inferior 6 (setor F5) usando microelétrodos de tungstênio (impedância 0,5 - 2 MΩ medida na frequência de 1 kHz). O microeletrodo utilizado para as gravações também foi utilizado para microestimulação elétrica. A estimulação foi feita em cada penetração a cada 500 μm aplicando trens de pulsos catódicos gerados por um estimulador de corrente constante (duração do trem 50 ms, duração do pulso 2 ms, frequência 250 Hz, intensidade de corrente 3-40 μA)”²⁴ (Di Pellegrino et al., 1992, p. 176, parênteses do autor).

O teste foi descrito da seguinte maneira:

“Os neurônios foram primeiramente testados informalmente apresentando objetos de diferentes tamanhos e formas em várias posições espaciais [...]. Uma vez que ficou claro que um neurônio se tornou ativo durante os movimentos da mão do macaco, sua descarga foi estudada em uma situação comportamentalmente controlada. Uma caixa de teste (45cm x 30cm x 35cm) foi colocada na frente do macaco ao nível do ombro. A porta da frente da caixa era formada por um espelho unidirecional. Sólidos geométricos de diferentes tamanhos e formas foram colocados dentro da caixa. A iluminação da sala foi ajustada para evitar que o animal visse dentro da caixa. O macaco iniciou as tentativas pressionando um interruptor formado por duas placas finas com o polegar e o dedo indicador. Pressionar o interruptor acendeu a caixa e tornou o objeto visível. Após um atraso de 1.2 a 1.5s, a porta se abriu e o macaco pôde alcançar o objeto. O animal foi

²⁴ Trecho original: “Single neurons were recorded from inferior area 6 (sector F5) using tungsten microelectrodes (impedance 0.5 - 2 MΩ measured at 1 kHz frequency). The microelectrode used for recordings was also used for electrical microstimulation. The stimulation was made in each penetration every 500 μm by applying trains of cathodal pulses generated by a constant current stimulator (train duration 50 ms, pulse duration 2 ms, frequency 250 Hz, current intensity 3-40 μA)”.

recompensado com um pedaço de comida localizado sob o objeto”²⁵ (Ibidem, p. 176 - 177).

No entanto, logo após os primeiros registros do funcionamento elétrico dos neurônios os pesquisadores observaram que:

“[...] incidentalmente as ações de alguns experimentadores, como pegar a comida ou colocá-la dentro da caixa de teste, ativaram uma proporção relativamente grande de neurônios F5 na ausência de qualquer movimento evidente do macaco”²⁶ (Ibidem, p. 176).

Além do mais:

“Após a descoberta de que as ações de alguns experimentadores poderiam ativar os neurônios F5, todos os neurônios registrados foram examinados realizando uma série de ações motoras na frente do animal. Essas ações estavam relacionadas à apreensão do alimento (por exemplo, apresentar o alimento ao macaco, colocá-lo em uma superfície, recuperá-lo, entregá-lo a um segundo experimentador, tirá-lo dele), à manipulação do alimento e de outros objetos (quebrar, rasgar, dobrar), foram gestos com ou sem conteúdo emocional (ameaçar, levantar os braços, acenar com as mãos)”²⁷ (Ibidem, p. 177).

A descoberta inesperada levou os pesquisadores a concluir que alguns neurônios F5 “[...] podem recuperar movimentos não apenas com base nas características do estímulo, [...] mas também com base no significado das ações observadas.”²⁸ (Ibidem, p. 176). Portanto, “Uma das funções fundamentais do

²⁵ Trecho original: “The neurons were first tested informally by presenting objects of different size and shape in various spatial positions [...]. Once it was clear that a neuron became active during the monkey's hand movements, its discharge was studied in a behaviorally controlled situation. A testing box (45 cm x 30 cm x 35 cm) was placed in front of the monkey at its shoulder level. The box front door was formed by a one-way mirror. Geometric solids of different size and shape were placed inside the box. The room illumination was adjusted to prevent the animal from seeing inside the box. The monkey initiated the trials by pressing a switch, formed by two thin plates, with the thumb and index finger. Pressing the switch lit the box and made the object visible. After a delay of 1,2 1,5s, the door opened and the monkey was allowed to reach for the object. The animal was rewarded with a piece of food located under the object”.

²⁶ Trecho original: “[...] incidentally observed that some experimenter's actions, such as picking up the food or placing it inside the testing box, activated a relatively large proportion of F5 neurons in the absence of any overt movement of the monkey.”

²⁷ Trecho original: “Following the discovery that some experimenter's actions could activate F5 neurons, all recorded neurons were examined by performing a series of motor actions in front of the animal. These actions were related to grasping food (e.g., presenting the food to the monkey, putting it on a surface, retrieving it, giving it to a second experimenter, taking it away from him), to manipulation of food and other objects (breaking, tearing, folding), or were gestures with or without emotional content (threatening, lifting the arms, waving the hands)”.

²⁸ Trecho original: “[...] can retrieve movements not only on the basis of stimulus characteristics [...], but also on the basis of the meaning of the observed actions.”

córtex pré-motor é recuperar atos motores apropriados em resposta aos estímulos sensoriais”²⁹ (Ibidem, p. 179). Ou seja, resgatar a partir da percepção visual de uma ação realizada por outro símio o sentido da ação.

Vale salientar que apesar das células F5 terem sido examinadas individualmente, sua relação com uma ação realizada ou observada deve ser interpretada como um código de população neural (Arbib, 2012). Também é importante descrever que dentre os 184 neurônios F5, quase todos ficaram ativos durante diferentes tipos de movimentos, como agarrar, segurar ou rasgar. No total, 87 neurônios responderam à estímulos visuais que requer um tipo particular de movimento da mão, como a preensão em pinça, enquanto 48 responderam a estímulos agradáveis (comida, seringa cheia de suco de laranja); o macaco estendia a mão para o estímulo que ao ser pego era levado e agarrado com a boca. Além disso, 39 células apresentaram propriedades visuais complexas que foram organizadas em quatro grandes categorias: na primeira estão os neurônios que respondem à uma ação executada e observada, como agarrar com as mãos (rotação e manipulação de objetos), ou agarrar um alimento com a mão e levar à boca; a segunda categoria corresponde aos neurônios que descarregaram potencial de ação durante uma ação observada que era a mesma executada pelo animal, como agarrar um objeto ou colocar um objeto sobre a mesa; a próxima categoria, consistia em neurônios que disparavam mediante à observação de ações que estavam claramente relacionadas às ações executadas, sendo que alguns movimentos podiam ser vistos como preparatórios, por exemplo, a ação visualizada foi colocar um pedaço de comida sobre a mesa, enquanto a ação executada era pegar o alimento sobre a mesa e leva-lo à boca. Por fim, a quarta categoria era formada por neurônios que respondiam mediante ações observadas que não tiveram atividade correlacionada com o movimento do animal.

A propósito, movimentos livres sem nenhum objeto na mão do experimentador não desencadeou o disparo de neurônios de qualquer uma dessas classes. Da mesma forma, o experimentador que utilizou uma pinça ou outras ferramentas para pegar um alimento dentro do campo visual do macaco

²⁹ Trecho original: “One of the fundamental functions of the premotor cortex is that of retrieving appropriate motor acts in response to sensory stimuli”.

não estimulou o disparo de potenciais de ação. Afinal, movimentos ameaçadores (violentos) com as mãos e os braços também não excitaram essas células neurais. Vale deixar claro que os movimentos executados pelo experimentador acionaram os neurônios tanto dentro como fora do espaço peripessoal do macaco. No entanto, os disparos eram mais fortes quando os estímulos observados eram realizados próximos ao animal. Por fim, tendo em vista que alguns movimentos realizados pelos animais pudessem passar despercebidos, os pesquisadores recorreram a eletromiografia (EMG), que possibilitou registrar os sinais elétricos gerados pelas células musculares do braço e da mão dos símios (Di Pellegrino et al., 1992).

É importante salientar que o estímulo nesse experimento foi puramente visual. No entanto, vale citar que:

“Diferentes modalidades de percepção – um objeto visto, uma face tocada, uma melodia ouvida – são processadas de modo semelhante pelos diferentes sistemas sensoriais. Receptores em cada sistema inicialmente analisam e, a seguir, desagregam a informação originada do estímulo. Os receptores para cada sistema na periferia corporal são sensíveis a determinado tipo de evento físico – luz, pressão, som, substâncias odoríferas. Quando um receptor é estimulado – quando, por exemplo, uma célula receptora na retina é estimulada pela luz -, ele responde com um padrão distinto de disparos que representa certas propriedades do estímulo. Cada sistema sensorial obtém, assim, a informação acerca do estímulo, e essa informação é transmitida ao longo de uma via de células que leva a uma região específica (unimodal) do córtex cerebral. No córtex, diferentes regiões unimodais, representando diferentes modalidades sensoriais, comunicam-se com áreas associativas multimodais por vias intracorticais específicas, e, nessa rede, os sinais são selecionados e combinados em uma percepção aparentemente sem emendas” (Kandel, 2014, p. 327).

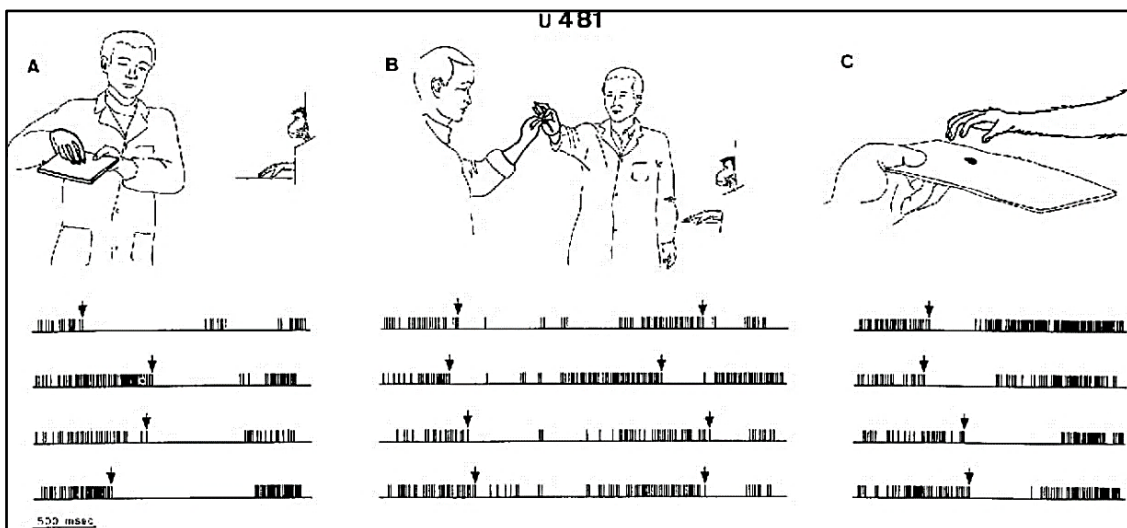
A propósito da característica funcional dos neurônios F5, os autores da pesquisa sugerem que:

“A importância comportamental de uma seleção rápida dos movimentos apropriados de acordo com os movimentos de outros indivíduos provavelmente favoreceu esse tipo de codificação que

permite um rápido reconhecimento dos estímulos³⁰ (Di Pellegrino et al., 1992, p. 179).

Nesse mesmo sentido, (Rizzolatti e Strick apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 363), inferem que: “A informação sensorial necessária para a ação é o produto da interação entre os sistemas motores e sensoriais. Em muitas circunstâncias, portanto, ação e percepção são inseparáveis”. Segundo Arbib (2012), parece pertinente que os neurônios F5 “tenham evoluído primeiro para monitorar o feedback das ações e para apoiar a aprendizagem, com seu papel na interação social sendo secundário³¹ (Ibidem, 2012, p. 124).

Figura 8 - Exemplo de um único neurônio F5 disparando seletivamente mediante a observação ou realização de uma ação manual.



Fonte: Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992, p. 178). As setas apontadas sobre a representação gráfica dos disparos de potencial de ação de um neurônio F5, indicam o início aproximado do movimento de preensão realizado pelo pesquisador em A; a segunda seta na figura B corresponde ao início da preensão pelo segundo pesquisador, enquanto a primeira seta corresponde a preensão dos dedos da mão do experimentador transmissor; na imagem C, a seta indica o início da preensão realizada pelo animal.

Após quatro anos o grupo de Parma realizou um novo experimento com dois macacos da espécie nemestrina. Os pesquisadores implantaram microelétrodos de tungstênio em 532 neurônios na mesma área, ou seja, no córtex pré-motor, área 6 (setor 5), para gravar e estimular a atividade elétrica de cada célula neural (Gallese et al., 1996). Esse foi o primeiro trabalho que

³⁰ Trecho original: “The behavioral importance of a fast selection of the appropriate movements according to the movements of other individuals has probably favored this type of coding which allows a rapid recognition of the stimuli”.

³¹ Trecho original: “evolved first to monitor feedback on actions and to support learning, with their role in social interaction being secondary”.

denominou os neurônios F5 com o nome de NE. Dentre as 532 células examinadas, noventa e duas disparavam quando o primata não humano visualizava o cientista realizando um comportamento gestual, assim como quando o animal realizava a mesma ação motora do pesquisador. Aliás, foram encontradas propriedades visuais e motoras que por serem congruentes facilitou a classificação dos NE em diferentes classes de acordo com os estímulos e as ações gestuais que os ativavam.

A primeira classe comporta os NE que disparam mediante a observação e realização específica de uma ação gestual feita pelo experimentador. Por exemplo, extrair um pequeno pedaço de comida de um buraco com o dedo indicador. Além disso, esses neurônios disparavam mediante tipos específicos de movimentos de preensão como a:

“[...] preensão de precisão [segurar com o dedo indicador e o polegar, geralmente usada para objetos pequenos], preensão radial palmar [prender com a mão inteira, usada para objetos grandes] e preensão com os dedos” (Kandel, 2014, p. 370).

Essa classe foi denominada de NE restritamente congruente. As células neurais que disparavam mediante a observação de duas ou mais ações manuais como agarrar ou manipular um objeto, e mediante a realização da ação pelo símio como agarrar, segurar ou manipular, foram classificadas como amplamente congruentes. Ainda dentro dessa classificação, estão os neurônios que “[...] parecia ser ativado pelo objetivo da ação observada, independentemente de como ela foi alcançada”³² (Gallese et al., 1996, p. 602). Além disso, foi constatado que essas células disparavam quando o animal realizava um movimento de preensão da mão, assim como durante a observação dos movimentos de preensão da mão ou da boca efetuado pelo pesquisador. Aliás, os neurônios que disparavam mediante uma ação observada e um movimento realizado pelo animal e que não tinham uma relação definida foram classificados como não congruentes. Cabe acrescentar que trinta e dois neurônios foram examinados a partir do uso alternado da mão direita e esquerda. Algumas células neurais disparavam apenas quando o experimentador segurava

³² Trecho original: “[...] appeared to be activated by the goal of the observed action regardless of how it was achieved”.

o alimento com a mão esquerda, que corresponde a mão direita no caso da postura face a face, mas no geral, não houve diferença de disparo neural durante o emprego da mão direita ou esquerda. De modo semelhante, a distância estabelecida entre o experimentador e o símio para executar uma ação não influenciou o comportamento da grande maioria dos neurônios. Afinal, quando o macaco visualizava a mão do experimentador próximo ao objeto, quer dizer, a ação gestual da mão não era direcionada ao objeto, os NE não disparavam.

Vale acrescentar dois fatos reportados no artigo de publicação do trabalho sobre a conexão da área 6 (setor F5), com outras áreas do córtex cerebral de símios. Ao saber que a área F5 recebe estímulos visuais indiretamente do lóbulo occipital e por intermédio do lobo parietal inferior, e principalmente pela região intraparietal anterior que corresponde a área 7b, os pesquisadores de Parma revisitaram o trabalho de Leinonen e colaboradores (1979), para identificar o funcionamento dessa área, e constataram que:

“[...] eles descobriram que muitos neurônios na área 7b responderam à estimulação somatossensorial [...]. Alguns neurônios foram ativados por movimentos 'intencionais' e especialmente por alcance e manipulação. Entre os neurônios que respondem à estimulação visual, eles relataram um neurônio que "disparou quando a mão do experimentador se aproximou de um pacote de passas”³³ (Leinonen et al., 1979, p. 306, apud Gallese et al., 1996, p. 605, aspas do autor).

Segundo o grupo de Parma os autores do estudo “[...] não comentaram as propriedades surpreendentes desses neurônios, possivelmente por sua raridade”³⁴ (Gallese et al., 1996, p. 605). No entanto, com base nos resultados da pesquisa, os cientistas italianos sugeriram a existência de neurônios com características funcionais de espelho na área 7b. O segundo fato reportado remete ao trabalho de Seltzer e Pandya (1989), os pesquisadores observaram uma semelhança significativa entre as propriedades dos neurônios F5 com as

³³ Trecho original: “They found that many neurons in area 7b responded to somatosensory, [...]. Some neurons were activated by 'intentional' movements and especially by reaching and manipulation. Among neurons responding to visual stimulation they reported one neuron that 'fired when the experimenter's hand approached a package of raisins”.

³⁴ Trecho original: “[...] not comment on the surprising properties of this neuron, possibly because of its rarity”

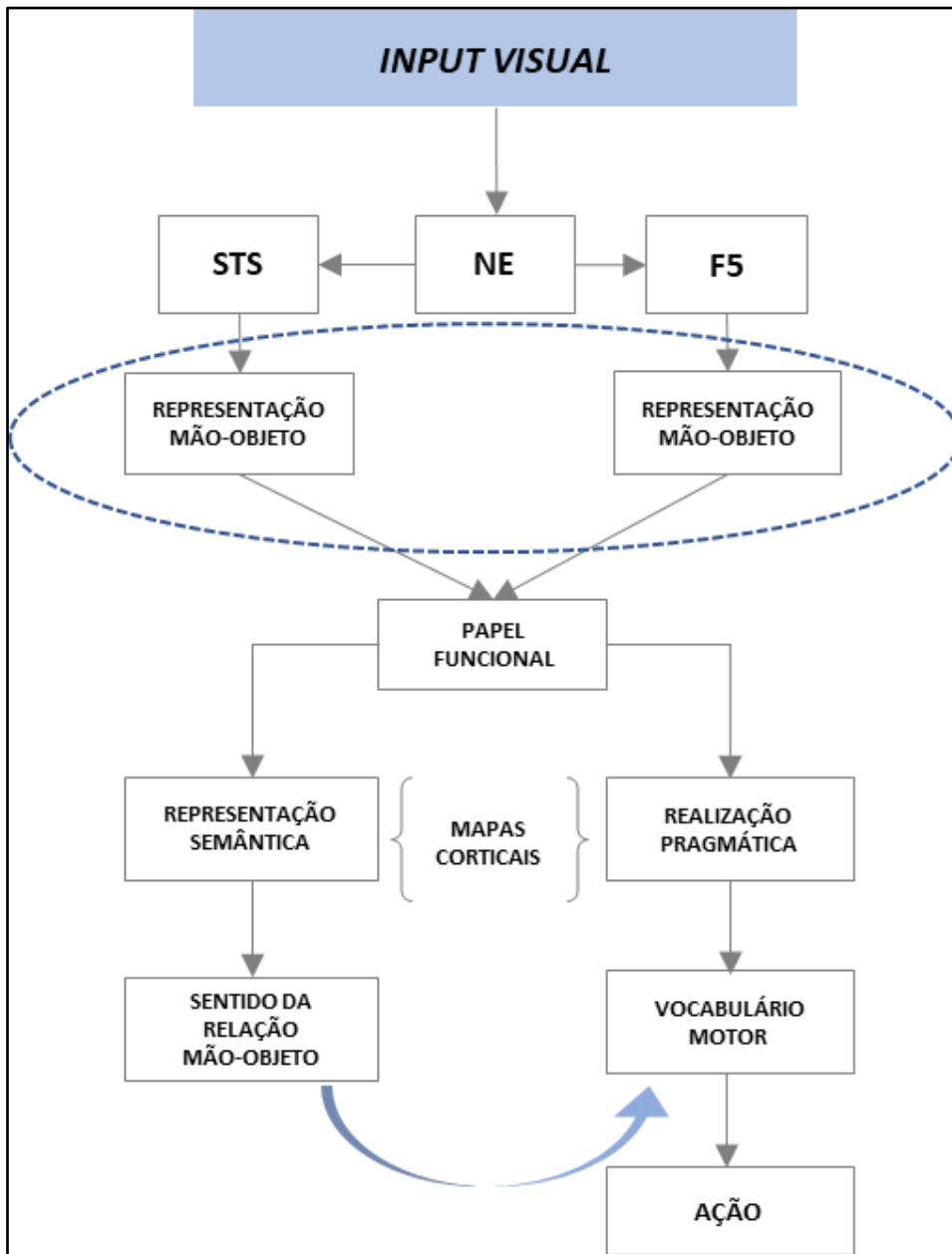
células neurais encontradas no sulco temporal superior (STS). A partir desse paralelo a equipe de Parma inferiu a seguinte hipótese:

A presença de duas regiões cerebrais com neurônios notavelmente semelhantes em suas respostas a estímulos visuais levanta a questão de suas possíveis relações. Uma possibilidade é que as duas representações das interações mão-objeto sejam independentes uma da outra e tenham papéis funcionais diferentes. Tendo em vista a distinção entre mapas corticais pragmáticos e semânticos [...] pode-se postular que o sulco temporal superior é a *representação* semântica das interações mão-objeto, enquanto F5 é o pragmático. Outra possibilidade é que as duas representações sejam etapas de uma mesma análise. A representação do sulco temporal superior forneceria neste caso, uma descrição inicial das interações mão-objeto que seriam então enviadas para F5 e combinadas com o 'vocabulário motor' [...], daquela área. As duas possibilidades não são mutuamente exclusivas. A representação do sulco temporal superior pode ser tanto uma representação semântica quanto um estágio para posterior correspondência com ações motoras³⁵ [itálico nosso] (Gallese et al., 1996, p. 606, aspas do autor).

Para ilustrar o raciocínio elaboramos o seguinte quadro:

³⁵ Trecho original: “The presence of two brain regions with neurons remarkably similar in their responses to visual stimuli, raises the question of their possible relationships. One possibility is that the two representations of hand—object interactions are independent one of another and have different functional roles. In view of the distinction between pragmatic and semantic cortical maps [...], one can postulate that superior temporal sulcus is the semantic representation of hand—object interactions, while F5 is the pragmatic one. Another possibility is that the two representations are stages of the same analysis. The superior temporal sulcus representation would provide, in this case, an initial description of hand-object interactions that would then be sent to F5 and matched with the 'motor vocabulary' [...], of that area. The two possibilities are not mutually exclusive. The superior temporal sulcus representation might be both a semantic representation and a stage for further matching with motor actions.

Figura 9 - Esquema da relação funcional entre os NE do STS e do setor F5.



Fonte: Produção do próprio autor. O *input* visual corresponde a observação de uma ação motora realizada pelo experimentador em frente ao campo visual do primata não humano. Por exemplo, o animal viu o pesquisador esticar o braço até alcançar e agarrar com a mão um pedaço de alimento sobre a mesa. As características do estímulo visual seriam codificadas no STS em forma de um mapa cortical onde são processadas a informação semântica da ação, ou seja, a intenção/sentido funcional da ação. Em outras palavras, o sentido comportamental de uma ação é reconhecido com base na interação entre o movimento de um gesto e um objeto. Nesse caso, pegar o alimento sobre a mesa pressupõe que vai ser levado até a boca para comer. Tendo em vista que o STS seria responsável por representar internamente o sentido gestual observado, o setor F5 corresponde ao processamento motor da ação, isto é, a organização somatotópica do movimento estruturado em forma de um vocabulário motor. A seta em azul representa o sentido correlacional entre um gesto e um objeto representado por um vocabulário motor. A circunferência pontilhada em azul representa uma possível etapa de processamento semelhante.

Além de sugerir que existem células com propriedades de NE nas áreas 7B e no STS, os pesquisadores de Parma apresentaram as seguintes hipóteses funcionais sobre os NE encontrados no setor F5. A primeira corresponde a representação somatotópica do corpo. Ou seja, a descarga de potencial de ação emitida pelos NE representa a codificação de informações básicas que configuram uma ação. Por exemplo: movimentar o braço em uma posição ou direção, articular as mãos e os dedos, ou gesticular com a boca (movimento orofacial). Aliás, “O mapeamento funcional da área F5 com base na estimulação elétrica mostra que essa área contém representações de movimentos da mão e da boca que se sobrepõem consideravelmente” (Rizzolatti e Kalaska apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 763). Além disso:

“[...] estudos neurofisiológicos têm apoiado a hipótese geral de que os movimentos de alcance envolvem processos neuronais que realizam uma sequência de transformações entre as aferências sensoriais e as eferências motoras. Esse processo ocorre em uma rede distribuída e dinâmica de áreas corticais, em vez de uma via estritamente em série. Não existem transições abruptas de propriedades celulares entre as áreas corticais; em vez disso, existe uma progressão. Correlatos neurais de cada suposta transformação podem ser observados tanto em áreas parietais como em áreas pré-centrais, cuja natureza e funções reais ainda não são plenamente conhecidas” (Ibidem, 2014, p. 760).

De modo geral, tais comandos estão organizados estruturalmente e funcionalmente em forma de mapas neurais da superfície corporal utilizada na realização da ação. Por exemplo: um movimento simples com as mãos, como agarrar um objeto, requer o processamento de regiões subcorticais como o disparo de:

“[...] neurônios sensoriais que transmitem informações da pele, músculos e articulações dos membros e do tronco para a medula espinal que estão agrupados nos gânglios da raiz dorsal, dentro da coluna vertebral, imediatamente adjacente à medula espinal. Esses neurônios tem o formato pseudounipolar. Possuem um axônio bifurcado com prolongamentos central e periférico. O ramo periférico termina na pele, nos músculos e em outros tecidos como terminações nervosas livres ou em associação com receptores especializados. O processo central entra na medula. Ao entrar, o axônio forma

ramificações que terminam na substância cinzenta da medula ou ascendem para núcleos localizados próximos à junção da medula com o bulbo. Essas ramificações locais e ascendentes fornecem duas vias funcionais para a informação somatossensorial entrar na medula a partir das células ganglionares da raiz dorsal. As ramificações locais podem ativar circuitos reflexos locais, enquanto os ramos ascendentes carregam informação ao encéfalo, onde essa informação tornar-se-á a matéria bruta para a percepção de tato, posição ou dor” (Kandel, 2014, p. 317).

Vale acrescentar que:

“Os axônios centrais das células ganglionares da raiz dorsal formam um mapa neural [primeiro mapa] da superfície corporal quando termina na medula espinal. Essa distribuição somatotópica ordenada de aferências de diferentes porções da superfície corporal se mantém por toda a via ascendente somatossensorial” (Ibidem, 2014 p. 317).

Considerando que essa via perpassa pelo cerebelo, mesencéfalo, núcleos da base, tálamo e córtex motor, compreendemos que a representação somatotópica comporta ponto a ponto de uma área do corpo desde a musculatura proximal até os membros distais. Aliás, é pertinente mencionar que as interações motoras de um indivíduo com o mundo, como esticar o braço para agarrar um objeto com as mãos, requer uma localização tanto do objeto quanto do próprio corpo no espaço. Essa dinâmica é processada em mapas espaciais:

“[...] cujas propriedades estão sintonizadas às necessidades motoras dos diferentes efetores. [...] Os mapas espaciais de cada área cortical não são mapas no sentido comum de uma representação fiel, ponto a ponto, do espaço circundante, mas são mapas dinâmicos que podem se expandir ou diminuir de acordo com as necessidades motoras importantes para a interação com determinado objeto estacionário ou em movimento” (Rizzolatti e Kalaska apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 754).

Aliás, assim como o córtex motor é organizado somatotopicamente, o córtex somatossensorial também possui representações neurais em forma de mapas da superfície receptiva para cada modalidade sensorial. Por exemplo:

“Neurônios sensoriais com receptores na pele fazem a transdução da energia mecânica de um estímulo em sinais neurais que são

transmitidos ao longo de vias que terminam em áreas somatossensoriais do lobo parietal do córtex cerebral. Cada via inclui uma ou mais estações de retransmissão sinápticas. Em cada estação, onde milhares de axônios aferentes terminam em um agrupamento de neurônios semelhantes, o arranjo das fibras pré-sinápticas preserva as relações espaciais dos receptores na superfície do corpo. Esse ordenamento somatotrópico cria assim um mapa neural da superfície corporal em cada estação sináptica no sistema somatossensorial – a informação vinda de receptores vizinhos na pele é retransmitida para células vizinhas em cada estação sináptica” (Ibidem, 2014, p. 330).

De modo geral, tanto o mapa motor quanto o mapa sensorial representados somatotopicamente no córtex cerebral não é proporcional à sua massa. Ou seja:

“[...] é proporcional à densidade de inervação, o que traduz o refinamento da discriminação de cada parte do corpo. Assim, a área do córtex dedicada aos dedos é maior do que aquela dedicada aos braços. Da mesma forma, a representação dos lábios e da língua ocupa uma maior superfície cortical do que a do restante da face” (Ibidem, 2014, p. 321).

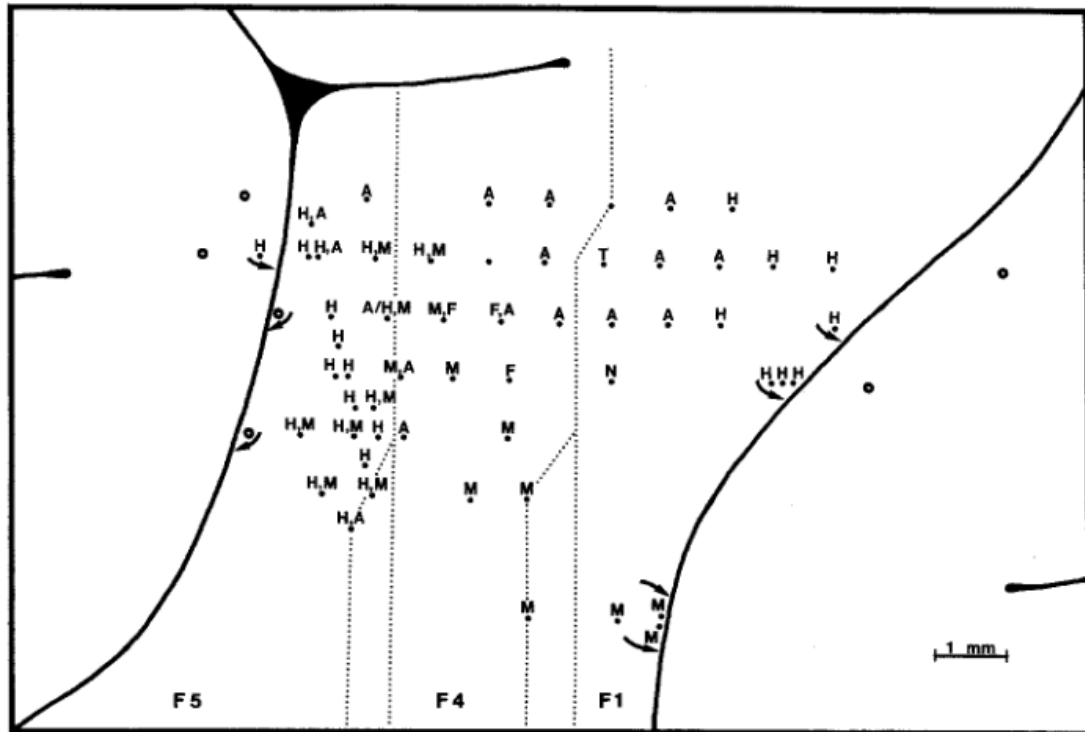
Afinal, é importante deixar claro que não existe apenas um mapa, mas uma variedade de mapas interconectados segundo as diferenças estruturais e funcionais de células aferentes e eferentes que são organizadas hierarquicamente no córtex. Sendo assim:

“[...] o córtex está organizado em colunas ou placas verticais. Cada coluna tem 300 a 600 μm de largura e abrange todas as seis camadas corticais da superfície até a superfície branca. Todos os neurônios em uma coluna recebem sinais de entrada da mesma área local da superfície receptora e respondem à mesma classe ou classes de receptores. Uma coluna é portanto uma estrutura anatômica que pela organização de sinais que chegam transmitindo informações relacionadas acerca de localização e modalidade, perfaz um módulo funcional elementar do córtex” (Ibidem, 2014, p. 448).

Aliás, os mapas podem ter sua configuração estrutural e funcional alterada, mesmo que sua distribuição somatotópica seja geneticamente pré-determinada. Sendo assim, a organização das células neurais pode ser modificada pela experiência do indivíduo. Vale lembrar da síndrome do membro

fantasma que está correlacionado ao remapeamento de alguma parte do corpo amputado.

Figura 10 - Mapa somatotópico do córtex agranular frontal esquerdo.



Fonte: Gentilucci et al., (1988, p. 478). Os pontos indicam o local da penetração dos microelétrodos. As letras simbolizam as partes do corpo controladas pelos neurônios encontrados em cada penetração. Ponto sem símbolo e círculos abertos indicam as penetrações dentro e fora do córtex agranular onde não foram registrados a atividade de neurônios que respondem a movimentos corporais ativos. As áreas histoquímicas (F1, F4 e F5) são separadas por linhas tracejadas. As áreas não marcadas entre F1 e F4 e F4 e F5 são zonas de transição. Legenda: A = braço; F = rosto; H = mão; M = boca; N = pescoço; T = tronco superior

De modo geral, podemos compreender que a organização estrutural e funcional dos NE localizados no córtex pré-motor no cérebro de símios codificam informações em forma de impulsos elétricos que recebem e enviam sinais para outros sistemas, como o sensorial e o cognitivo. A heterogeneidade de informações codificadas por essa classe de neurônios corresponde a diversidade de mapas somatotópicos que podem se sobrepor em uma mesma área. Assim, os NE apresentam propriedades que estão além da codificação de ações motoras. Por exemplo, os NE apresentam características funcionais visuomotores, ou seja, codificam diferentes tipos de movimentos orientados visualmente. Para ilustrar a complexidade estrutural e funcional dos substratos

neurais da visão, cabe mencionar de forma sucinta as características do sistema visual.

A primeira corresponde a sua natureza construtiva, quer dizer, “Ao analisar a entrada de sinais visuais, o encéfalo faz suposições da cena apresentada aos olhos com base em experiências do passado” (Kandel e Gilbert, 2014, p. 483). Em outras palavras, “O encéfalo tem sua maneira de olhar o mundo” (Ibidem, 2014, p. 484). Uma característica estrutural e funcional que se assemelha tanto ao sistema visual quanto ao sistema motor é seu processamento hierárquico e o arranjo espacial das células neurais. Por exemplo, hierarquicamente o processamento visual inicia nas duas retinas e continua por outras áreas do encéfalo, como o quiasma óptico, o núcleo geniculado lateral localizado no tálamo, além de regiões subcorticais como a formação pontina no tronco encefálico responsável pelo processamento dos movimentos oculares, assim como a área pré-tectal do mesencéfalo que subjaz “[...] os reflexos pupilares que controlam a quantidade de luz que entra nos olhos” (Ibidem, 2014, p. 484). Esse percurso perpassa pelo córtex visual primário que:

“[...] constitui o primeiro nível do processamento cortical da informação visual. Dele, as informações são transmitidas através de duas vias principais: uma via ventral para o lobo temporal que conduz informação sobre qual é o estímulo, e uma via dorsal para o lobo parietal que conduz informações sobre onde está o estímulo, a qual é crucial para guiar o movimento” (Ibidem, 2014, p. 484).

Além disso, áreas do córtex visual (V1, V2, V3), e áreas de associação compõem um mosaico citoarquitetônico que em alguns casos não são fáceis de serem definidos por critérios citoanatômicos.

“O número de áreas funcionalmente distintas do córtex visual [...] de macacos do gênero *Macaca* têm mais de 30 áreas. Embora nem todas as áreas visuais em humanos tenham sido identificadas, o número parece ser pelo menos tão numeroso quanto o dos macacos” (Ibidem, 2014, p. 486, *itálico dos autores*).

Outra característica do sistema visual é o arranjo espacial das células neurais em forma de mapas visuotópico ou retinotópico. Por exemplo:

“Cada via dorsal e ventral compreende uma série hierárquica de áreas que podem ser delineadas por vários critérios. Em primeiro lugar, em muitos relés, o conjunto de informações aferentes forma um mapa do hemisfério visual e cada representação pode ser utilizada para delimitar uma área visual. Isso é particularmente útil em níveis iniciais da via onde os campos receptivos de neurônios são pequenos e os mapas visuotópicos são precisamente organizados. Em níveis mais elevados, no entanto, os campos receptivos se tornam maiores, os mapas menos precisos, e a organização visuotópica é, portanto, uma base menos confiável para delimitar os limites de uma área” (Ibidem, 2014, p. 489).

Para ilustrar a complexidade da organização visuotópica cabe acrescentar que:

“O núcleo geniculado lateral nos primatas consiste em seis camadas, cada uma recebendo informações do olho ipsilateral ou contralateral. Como cada camada contém um mapa do hemisfério contralateral, seis mapas concordantes são empilhados uns sobre os outros” (Ibidem, 2014, p. 484).

Afinal, a organização visuotópica dos neurônios localizados no córtex visual primário se estendem a partir da superfície do córtex cerebral em direção à substância branca em forma de colunas corticais. Sendo assim:

“O sistema de colunas serve como substrato para dois tipos fundamentais de conectividade ao longo da via visual. O processamento serial ocorre em conexões sucessivas entre áreas corticais, conexões que percorrem desde a parte posterior do cérebro até a frente. Ao mesmo tempo, o processamento paralelo ocorre simultaneamente em subconjuntos de fibras que processam diferentes submodalidades de forma, cor e movimento” (Ibidem, 2014, p. 495).

Ademais:

“A organização colunar confere várias vantagens. Ela minimiza a distância necessária para que os neurônios com propriedades funcionais similares se comuniquem uns com os outros e permite que eles compartilhem aferências de vias distintas que conduzem informações sobre determinados atributos sensoriais. Essa eficiência de conectividade economiza no uso de volume encefálico e maximiza a velocidade do processamento. A aglomeração de neurônios em

grupos funcionais, tal como nas colunas corticais, permite que o encéfalo possa minimizar o número de neurônios necessários para analisar diferentes atributos” (Ibidem, 2014, p. 495).

Nesse sentido, vale lembrar que a organização somatotópica do sistema motor também representa o arranjo estrutural e funcional de diferentes neurônios distribuídos em colunas que podem apresentar propriedades distintas, formando assim, hipercolunas. Curiosamente, a partir do registro de neurônios individuais no olho foi possível distinguir funcionalmente células que disparavam mediante a especificidade de “[...] orientação e integração das informações aferentes dos dois olhos, que é medida como a força relativa da informação aferente de cada olho, ou dominância ocular” (Ibidem, 2014, p. 493). Afinal, por meio da análise histoquímica do córtex visual primário foi revelado aglomerados de neurônios seletivos à cor. No entanto, um estímulo visual apresentado a retina não é suficiente para o reconhecimento de objetos. Ou seja, é preciso um conjunto de operações que perpassam tanto pelo sistema visual quanto por outros sistemas sensoriais para que se possa ordenar “[...] a montagem dos componentes de uma imagem visual em uma percepção unificada” (Ibidem, 2014, p. 497). Nessa perspectiva, a atenção visual voluntária (endógena), e involuntária (exógena) calibram a capacidade de “[...] detectar objetos em um menor contraste e ignorar fatores de distração perto de um objeto” (Ibidem, 2014, p. 555). Quer dizer, o sistema visual opera em colaboração com outros sistemas que possibilitam uma variedade de funções, como por exemplo, “[...] ajustar a largura da preensão antes da mão chegar ao objeto” (Ibidem, 2014, p. 555).

Em suma, a codificação de uma cena visual pelo encéfalo requer o processamento dos sistemas do nível inferior (extração de certas características espaciais e temporais), dos sistemas de nível intermediário (disposição das cenas, primeiro e segundo plano de fundo), e dos sistemas de nível superior (reconhecimento da cena e objetos). Em vista disso, podemos inferir que os sistemas de baixo, médio e alto nível de processamento visual se correlacionam de forma indissociável, sem falar no estabelecimento de contato com outros sistemas. Nesse caso, vale citar que alguns neurônios visuo-motores “[...] são capazes de codificar as possibilidades de interação oferecidas pelo objeto” (Rizzolatti e Strick apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 370). Quer dizer:

“[...] um neurônio F5 pode transformar determinada possibilidade de interação em um ato motor potencial adequado pela congruência de sua resposta à possibilidade de interação e ao ato motor que controla. O objeto torna-se ação” (Ibidem, 2014, p. 370).

A propósito, um ato motor potencial pode ser representado como:

“[...] o disparo do neurônio na ausência de um movimento explícito, [...] essa atividade ocorre em um circuito que planeja um movimento, mas não desencadeia um comando motor. Atos potenciais motores proporcionam ao indivíduo a liberdade de escolher responder ou não a um estímulo ou simplesmente mantê-lo na memória” (Ibidem, 2014, p. 372).

Curiosamente, os pesquisadores Giacomo Rizzolatti, Michael Arbib e Giuseppe Luppino, formularam:

“[...] “um novo modelo de como as representações sensoriais de objetos são transformadas em movimentos das mãos, e [recorreram] a noção de “oferecibilidade” ou possibilidades de interação (affordance) introduzida pelo psicólogo James J. Gibson [(1904 – 1979)³⁶]. De acordo com Gibson, a visão de um objeto dispara uma seleção imediata e automática daquelas propriedades do objeto que permitem que se interaja com ele. Essas propriedades que compõem as *possibilidades de interação* não são os aspectos visuais do objeto (forma, massa, cor, etc.), mas as oportunidades pragmáticas que o objeto oferece ao observador” (Kandel, Rizzolatti, Strick, 2014, p. 370, *itálico dos autores*).

Com base em tais pressupostos os pesquisadores sugerem que os NE estão funcionalmente correlacionados com a codificação da compreensão da intenção da ação. Cabe esclarecer que nesse caso o termo compreensão corresponde a: “[...] capacidade de reconhecer que um indivíduo está realizando uma ação, de diferenciar essa ação de outras análogas a ela e de usar essa informação para agir adequadamente”³⁷ (Gallese et al., 1996, p. 606).

Cabe mencionar que os autores italianos citam o trabalho de Rizzolatti (1994), para esclarecer que “[...] a autoconsciência não está necessariamente

³⁶ James J. Gibson, nascido em 1904, falecido em 1979.

³⁷ Trecho original: “the capacity to recognize that an individual is performing an action, to differentiate this action from others analogous to it, and to use this information in order to act appropriately”.

implícita nessas funções”³⁸ (Ibidem, p. 606). Logo, as rajadas de potenciais de ação emitidos pelos NE não estariam apenas codificando os sinais de entrada e saída sensório motora, mas sim as possibilidades de interação decorrente entre eles. Portanto, a combinação da representação sensorial em sua contraparte motora evocaria no repertório de representações sensório-motor no córtex cerebral do observador, previsões sobre as possíveis consequências de uma ação. Nesse caso:

“[...] quando os neurônios espelho disparam em resposta a um ato motor realizado por outro indivíduo, o observador compreende o que o outro está fazendo, pois, a ação observada desencadeia em seu córtex pré-motor, um plano de ação cujo resultado passa a ser conhecido. [...] Os neurônios espelho poderiam, a princípio, fornecer uma compreensão com base na experiência das ações observadas, uma base para compreender a intenção dos outros. [...] Os neurônios espelho provavelmente sejam o sistema mais básico que o cérebro tem para compreender as intenções dos outros” (Rizzolatti e Strick apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 372).

Tendo em vista as hipóteses teóricas embasadas nas observações empíricas realizadas com as células neurais F5 que passaram a ser designadas como NE, podemos sumarizar as seguintes ideias:

- a) O experimento original da primeira pesquisa era registrar o disparo de potencial de ação de uma única célula neural localizada na área 6 (setor F5), tendo em vista distinguir quando o neurônio disparava mediante a realização de um movimento natural, como agarrar um pedaço de alimento dentro da caixa de teste, e quando o mesmo neurônio descarregava mediante a observação visual do mesmo gesto. Entendemos que ao examinar o comportamento funcional de um único neurônio é possível modelar seu funcionamento em rede. Ou seja, reproduzir seu padrão de disparos em interação com outras células, sejam elas funcionalmente semelhantes no sentido de constituírem uma

³⁸ Trecho original: “Self-consciousness is not necessarily implied in these functions”. Entendemos que a autoconsciência mencionada por Rizzolatti corresponde “a ideia de que sinais de entrada sensoriais por si não original a consciência; é necessária uma interpretação de alto nível desses sinais de entrada” (Kandel, 2014, p. 343).

população de neurônios F5 que se correlacionam através de sinapses elétricas ou com outras células que apesar de estarem em regiões distintas como a área 7b ou o STS, se comunicam com a área de origem do neurônio em análise. Nessa perspectiva, reconhecemos a relevância de estudar tanto as especificidades de cada unidade neural, quanto seu funcionamento em rede. De forma semelhante Kandel menciona que “Para que os processos biológicos da cognição sejam apreendidos, é necessário tirar o foco do neurônio individualmente e considerar como a informação é processada em redes neurais” Kandel (2014, p. 343 - 344). Além disso:

“Embora as propriedades da rede dependem das propriedades dos neurônios individuais na rede, elas não são idênticas ou mesmo similares àquelas propriedades, sendo então uma propriedade emergente da forma como essas diferentes células são interconectadas” (Ibidem, 2014, p. 329).

- b) O desenho experimental da pesquisa precisou ser reelaborado tendo em vista que a reação da célula neural analisada era semelhante tanto mediante a observação visual de uma ação, quando frente a realização da mesma. Em outras palavras, a atividade de células unitárias F5 não estavam separando o estímulo da resposta, mas sim combinando o sinal de entrada (estímulo visual) com o sinal de saída (comportamento motor). O experimento com técnicas invasivas viabilizou reconhecer as características específicas que possibilitou classificar os NE conforme sua funcionalidade. Os neurônios com características de espelho que disparavam fortes potenciais de ação durante a observação de uma ação e mediante sua realização foram classificados como restritamente congruentes. Enquanto, células neurais que descarregavam mediante a observação visual de uma ação e sua realização sem diferenciar qualquer tipo de movimento com as mãos, ou seja, respondendo de modo geral ao estímulo e a ação, foram identificados como amplamente congruentes. Além disso, foi constatado que o padrão de disparos de potencial de ação de um único NE codifica propriedades específicas tanto do estímulo quando da resposta. Afinal, as características funcionais dos NE

coincidem com o mosaico citoarquitetônico que compõe o córtex pré-motor dos macacos.

- c) Os trabalhos inaugurais apresentaram hipóteses semelhantes sobre o papel funcional dos NE. Por um lado, sua localização no córtex pré-motor salienta uma organização somatotópica em congruência com o arranjo citoarquitetônico dessa área. Existem mapas corticais de diferentes tamanhos e funções que se formam de acordo com a afinidade funcional e espacial das células neurais localizadas nas camadas corticais em diferentes áreas. Tal configuração recebe e envia impulsos elétricos em colaboração com outros sítios que também trocam informações codificadas em áreas subcorticais. Por exemplo, quando o símio estica o braço para alcançar com a mão um pedaço de alimento visualizado em sua frente, áreas subcorticais em conexão com o encéfalo e regiões corticais do cérebro operam em conjunto com o corpo que está em constante interação com o ambiente. A distribuição de células aferentes nos dedos do animal, assim como na palma da mão conduzem a transdução da energia mecânica do contato da mão com o alimento em impulsos elétricos que vão se tornando hierarquicamente mais complexos à medida que são processados por diferentes regiões subcorticais que culminam em áreas primárias do córtex cerebral. Juntamente com a organização funcional somatotópica, as codificações dos estímulos são processadas em vias paralelas que medeiam a troca de informações entre áreas sensoriais primárias, secundárias e áreas terciárias de associação. Vale salientar que “As áreas motoras corticais, estão interconectadas por padrões complexos de projeções recíprocas, convergentes e divergentes, e não simples conexões em série” (Kalaska e Rizzolatti apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 729). Aliás, quando um primata não humano direciona seu olhar para o alimento, células visuais aferentes extraem característica da cena que são distribuídas e ordenadas em redes neurais que perpassam por áreas subcorticais que enviam e recebem códigos neurais tanto de regiões primárias e secundárias da visão quanto de áreas corticais de associação. Por fim, ao olhar para o alimento posicionado em sua frente, o animal movimenta seu braço em direção ao mesmo, sendo

que sua mão e dedos tomam a configuração espacial de acordo com a forma do alimento. Ao combinar estímulos visuais e motores, os NE codificam as possibilidades de interação entre uma ação e um objeto. Nesse caso, os NE fazem parte dos mecanismos neurobiológicos que subjazem uma resposta comportamental adequada. Colocando em outras palavras, o repertório de representações motoras mediado pelo sistema de NE codifica as probabilidades de correlação entre uma ação e um objeto. Por fim, compreendemos que tanto os sistemas sensoriais quanto motores participam ativamente da cognição como um todo.

CAPÍTULO 3 – SUBSTRATOS NEURAIS DOS SONS DA FALA

3.1 Neurônios espelho e fonética

A partir da descoberta dos NE no córtex pré-motor de símios e do reconhecimento de suas hipóteses funcionais, o grupo de Parma sugeriu que essa classe de neurônios pode estar correlacionada com o funcionamento neurobiológico da linguagem. Nesse capítulo vamos discorrer sobre a correlação entre os NE e a fonética seguida de um capítulo acerca da semântica e por fim trataremos da sintaxe. É importante mencionar três referenciais teóricos utilizados pelos cientistas italianos para embasar a correlação da fonética com os NE. Primeiro, a homologia entre o substrato neuroanatômico dos NE encontrados no córtex pré-motor no cérebro de símios e a área de Broca localizada no hemisfério esquerdo no córtex cerebral humano. A questão da homologia estrutural e funcional entre a mesma área, porém no cérebro de espécies diferentes é comum nas pesquisas sobre a linguagem, por isso, não se restringe apenas ao vértice da fonética, ou seja, também aparece na correlação entre os NE e a semântica e sintaxe. O segundo referencial teórico diz respeito aos distúrbios neurocognitivos causados pela apraxia e sua correlação com os mecanismos neurobiológicos do controle motor da linguagem (fala e escrita), que por fim, culmina com o terceiro ponto, isto é, a teoria motora da percepção e produção da fala.

Nas próximas páginas vamos descrever esses tópicos a partir dos autores citados pelo grupo de Parma. Vamos examinar a hipótese da homologia estrutural e funcional entre a área 6 (setor F5) e a região de Broca segundo a literatura consultada pelos cientistas, além dos seus trabalhos. Em seguida, avançamos para o estudo da apraxia segundo o neurologista e psiquiatra alemão Hugo Liepmann³⁹, e por fim passamos a reflexão sobre a teoria motora da percepção da fala proposta pelo psicólogo americano Alvin Liberman⁴⁰. O intuito de retomar tais teorias é compreender a correlação sugerida pela equipe de Parma de que os NE medeiam a codificação de informações fonéticas.

3.2 Homologia entre a área 6 (setor F5) e a área de Broca

No primeiro artigo publicado sobre a descoberta dos NE no córtex pré-motor de símios, o grupo de Parma cita o trabalho de Humphrey e Freund (1991), para mencionar que a área 6, em especial o setor F5, “[...] corresponde em grande parte à área de Broca no cérebro humano”⁴¹ (Di Pellegrino et al., 1992, p. 179). Entendemos que ao comparar uma mesma região do córtex motor de símios com o do humano é possível inferir diferenças e semelhanças que perpassam pela organização estrutural e funcional da mesma área. Segundo Bota e Arbib, (2001, p. 337, aspas do autor):

“O conceito de homologia é central na biologia comparada. Expressa a existência de correspondências típicas e específicas entre partes de membros de grupos naturais de organismos vivos (Nieuwenhuys, 1998). O termo foi introduzido pela primeira vez por Owen, que definiu um homólogo como “o mesmo órgão em diferentes animais sob todas as variedades de forma e função” (Butler e Hodos, 1996). Esta definição foi dada antes da teoria da evolução de Darwin, assim o conceito moderno de homologia foi alterado pela biologia evolutiva e pela genética (Butler e Hodos, 1996). Portanto, o conceito de homologia foi definido em relação à “continuidade da informação”,

³⁹ Hugo Lipemann nascido 186,3 falecido 1925.

⁴⁰ Alvin Liberman nascido 1917, falecido em 2000.

⁴¹ Trecho original: “[...] corresponds in large part to that of Broca’s área in the human brain”.

herança de características de uma ancestralidade comum, ou continuidade filética”⁴².

Além do mais:

“Ao discutir homologias no nível do sistema nervoso é preciso distinguir três níveis de organização (Striedter, 1999): 1. Hierarquia de agregados celulares, composta pelas principais regiões cerebrais, núcleos cerebrais e subdivisões nucleares. 2. Hierarquia dos tipos de células, incluindo os principais tipos e subtipos. 3. Hierarquia de moléculas agrupadas em famílias e superfamílias. Mesmo que homologias específicas entre duas espécies possam ser identificadas em cada nível de organização do sistema nervoso não é necessariamente verdade que uma homologia em um nível irá transcendê-lo ou implicar em uma homologia específica para outro nível. Como exemplo, Reiner (1991) considera que o córtex dorsal dos répteis é homólogo ao neocórtex mamífero, mas o neocórtex reptiliano não possui células específicas do neocórtex mamífero”⁴³ (Ibidem, p. 337).

Os autores também salientam que ao examinar os substratos neurobiológicos entre o córtex cerebral de símios e humanos é preciso identificar: “[...] oito critérios para definir uma homologia entre duas estruturas cerebrais: morfologia celular, posição relativa, citoarquitetura, quimioarquitetura, mieloarquitetura, conexões aferentes e eferentes, e funções”⁴⁴ (Ibidem, 2001, p. 346). No caso do critério funcional vale lembrar que estímulos sobre o tecido

⁴² Trecho original: “The concept of homology is central to comparative biology. It expresses the existence of typical and specific correspondences between parts of members of natural groups of living organisms (Nieuwenhuys, 1998). The term was first introduced by Owen, who defined a homolog as “the same organ in different animals under every variety of form and function” (Butler and Hodos, 1996). This definition was given before Darwin’s theory of Evolution, thus the modern concept of homology was changed by evolutionary biology and genetics (Butler and Hodos, 1996). Accordingly, the concept of homology was defined in relation to “continuity of information,” inheritance of features from a common ancestry, or phyletic continuity”.

⁴³ Trecho original: “When discussing homologies at the level of the nervous system, one has to distinguish three levels of organization (Striedter, 1999): 1. Hierarchy of cellular aggregates, composed of major brain regions, brain nuclei, and nuclear subdivisions. 2. Hierarchy of cell types, including major types and subtypes. 3. Hierarchy of molecules grouped into families and superfamilies. Even though specific homologies between two species can be identified at each level of organization of the nervous system, it is not necessarily true that a homology at a level will transcend it or imply a homology that is specific for another level. As an example, Reiner (1991) considers that the dorsal córtex of reptiles is homologous to mammalian neocórtex, but the reptilian neocórtex does not have cells specific to the mammalian neocórtex”.

⁴⁴ Trecho original: “[...] eight criteria to define a homology between two brain structures: cell morphology, relative position, cytoarchitecture, chemoarchitecture, myeloarchitecture, afferent and efferent connections, and function”.

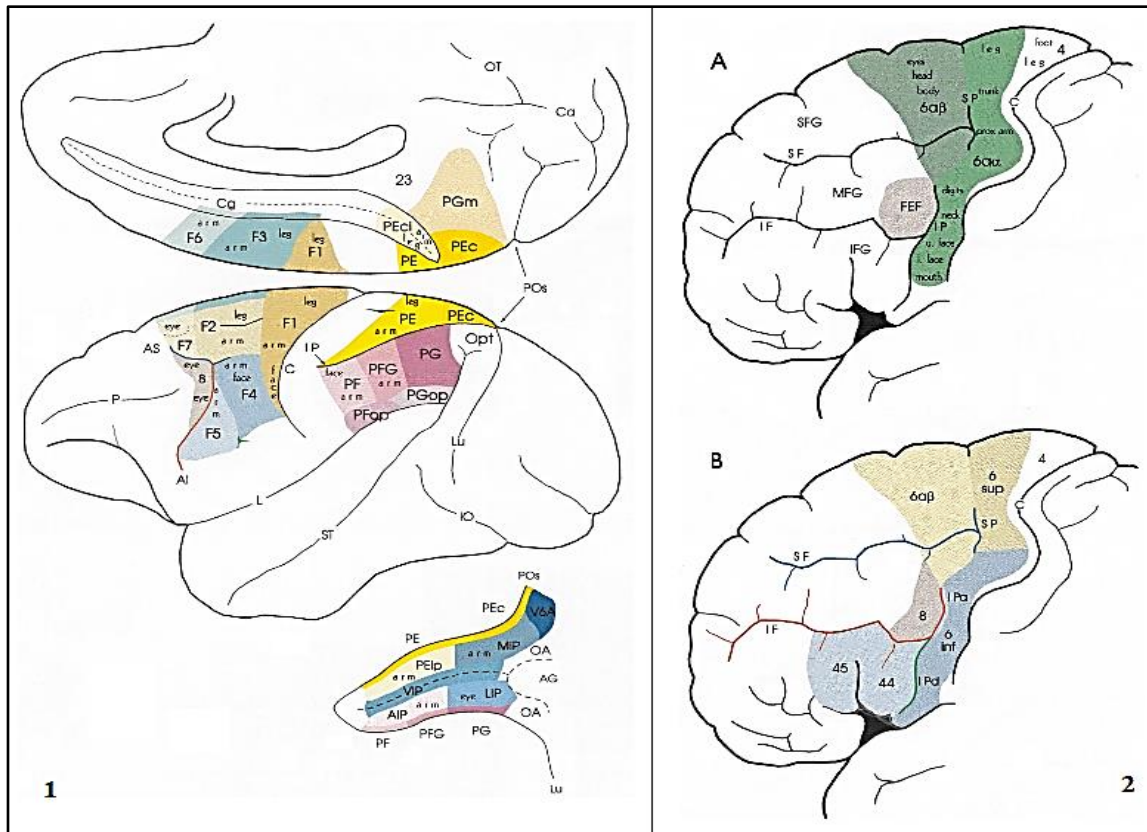
cortical ou lesões cerebrais possibilitam identificar áreas funcionalmente semelhantes entre diferentes espécies. No entanto, Rizzolatti e colaboradores, (1998, p. 292, parênteses do autor), destacam que:

"Embora seja imediatamente aparente a partir da anatomia macroscópica do cérebro e dos dados citoarquitetônicos que a organização cortical humana é semelhante (embora obviamente de muito maior complexidade) à do macaco, não é fácil transferir dados de circuitos de macaco para circuitos humanos, primeiro, porque homologias precisas entre áreas corticais de macacos e humanos são difíceis de estabelecer e segundo, porque mesmo com a técnica de imagem cerebral mais avançada desenvolvida na última década, o grau de detalhe que se pode obter em experimentos humanos é incomparavelmente menor do que o obtido em experimentos com primatas. Apesar dessas limitações, é interessante fazer uma comparação entre os córtices motores humanos e de macacos, a fim de ter um ponto de partida para testar hipóteses funcionais derivadas de experimentos com macacos em seres humanos, e para melhor compreensão, portanto, da organização do córtex motor humano"⁴⁵.

A seguinte imagem ilustra a homologia entre áreas do córtex cerebral de símios e do humano.

Figura 11 - Vista mesial e lateral do cérebro de símios em (1) e vista lateral do lobo frontal humano em (2).

⁴⁵ Trecho original: "While it is immediately apparent from brain gross anatomy and cytoarchitectonic data that human cortical organization is similar (although obviously of much greater complexity) to that of the monkey, nevertheless it is not easy to transfer data from monkey circuits to human circuits, first, because precise homologies between monkey and human cortical areas are difficult to establish and second, because even with the most advanced brain-imaging technique developed in the last decade, the degree of detail that one can obtain in human experiments is incomparably lower than that obtainable in primate experiments. In spite of these limitations, it is of interest to draw a comparison between human and monkey motor cortices in order to have a starting point for testing functional hypotheses derived from monkey experiments in human subjects, and for better understanding, therefore, human motor cortex organization".



Fonte: Adaptado de Rizzolatti, G., Luppino, G., e Matelli, M. (1988, p. 285 – 293). O primeiro quadrante exibe as vistas mesial e lateral do cérebro de símios mostrando o parcelamento citoarquitetônico do córtex frontal agranular e do córtex parietal posterior. As áreas motoras são definidas de acordo com Matelli et al. (1985, 1991). A terminologia utilizada deriva daquela utilizada por von Economo para o córtex humano que indica todas as áreas frontais, incluindo as motoras, com a letra F. Contrapondo a classificação de von Economo, os números em vez de letras identificam diversas áreas. Todas as regiões parietais exceto aquelas enterradas dentro do sulco intraparietal (IP), são definidas de acordo com Pandya e Seltzer (1982). As áreas localizadas dentro do sulco intraparietal são determinadas de acordo com dados fisiológicos e são mostradas em uma visão desdobrada do sulco na parte inferior da figura. Com base nos dados disponíveis são relatadas as várias representações de partes do corpo. No córtex pré-frontal, o campo ocular frontal (FEF) também é definido de acordo com critérios fisiológicos. O sulco arqueado superior (AS), o sulco arqueado inferior (AI) e a covinha pré-central inferior são desenhados em azul, vermelho e verde respectivamente. Os homólogos sugeridos desses sulcos no cérebro humano são desenhados com as mesmas cores no segundo quadrante. Siglas: AG, giro anelante; C, sulco central; Ca, fissura calcarina; Cg, sulco cingulado; IO, sulco occipital inferior; L, fissura lateral; Lu, sulco semilunar; OT, sulco occipitotemporal; P, sulco principal; POs, sulco parieto-occipital; ST, sulco temporal superior. O segundo quadrante mostra em (A), a vista lateral do lobo frontal humano mostrando a parcela citoarquitetônica da área 6 de Brodmann de acordo com Vogts (Vogt e Vogt, 1919) e as representações motoras são determinadas por estimulação elétrica de superfície por Foerster (1936). Em (B), a vista lateral do lobo frontal humano mostrando uma parcela do córtex motor de acordo com as homologias propostas com o córtex motor de primatas não humanos no quadrante 1. A homologia é baseada na configuração citoarquitetônica, além dos resultados funcionais de estimulação elétrica e nos dados de embriologia dos sulcos. Cores idênticas entre as figuras 1 e 2 indicam áreas consideradas homólogas. O sulco frontal superior (SF) e o sulco pré-central superior (SP) do cérebro humano são desenhados em azul como o membro superior do sulco arqueado de símios (AS). O sulco frontal inferior (IF) e o ramo ascendente do sulco pré-central inferior (IPa) do cérebro humano são desenhados em vermelho como o membro inferior do sulco arqueado de símios (AI). O ramo descendente do sulco pré-central inferior (IPd) é desenhado em verde como a covinha pré-central inferior do cérebro de símios. Siglas: IFG, giro frontal inferior; MFG, giro frontal médio; SFG, giro frontal superior.

Três aspectos do mapa 2 (A) devem ser observados segundo Rizzolatti e colaboradores (1998, p. 292, parênteses do autor):

“[...] (a) A superfície do giro pré-central pertence principalmente à área 6α e não à área 4 (como frequentemente se acredita). A área 4 está enterrada na maior parte de sua extensão no sulco central. Esta localização da área 4 está de acordo com dados modernos sobre esta questão (Geyer et al., 1996; ver também Preuss et al., 1996). (b) Uma representação ordenada de movimento está presente na área 6α (Foerster, 1936). Essa representação motora adicional na superfície lateral do cérebro indica que a representação motora é múltipla em humanos como em macacos (ver Freund, 1991; Matelli e Luppino, 1997). Além disso, como a excitabilidade elétrica de uma área reflete (se forem usados parâmetros de estimulação razoáveis) a presença de projeções corticoespinhais, a excitabilidade da área 6α indica que as fibras corticoespinhais se originam em humanos tanto da área 4 quanto do setor caudal da área 6 (6α). Esse padrão de origem do trato piramidal é semelhante ao do macaco, onde o trato corticoespinhal se origina de F1 (área 4) e as áreas localizadas na parte caudal da área 6 (F2, F3, F4 e uma parte de F5) (He et al., 1993, 1995; Luppino et al., 1994). (c) Tanto em humanos quanto em macacos, o campo ocular frontal e o campo dos dedos da área 6α são adjacentes (Paus, 1996). Essa proximidade poderia ser usada como um marcador para traçar homologias entre áreas corticais de macacos e humanos”⁴⁶.

Além disso, os pesquisadores sugerem que além das homologias supracitadas as áreas e linhas desenhadas na mesma cor na figura 1 e 2, baseiam-se também na “[...] ontogenia do córtex motor e na suposição de que as áreas funcionais delimitadas pelos sulcos mais antigos mantêm sua

⁴⁶ Trecho original: “[...] (a) The surface of the precentral gyrus belongs mainly to area 6α and not to area 4 (as is often believed). Area 4 is buried for most of its length in the central groove. This location of area 4 is in agreement with modern data on this issue (Geyer et al., 1996; see also Preuss et al., 1996). (b) An ordered representation of motion is present in area 6α (Foerster, 1936). This additional motor representation on the lateral surface of the brain indicates that the motor representation is multiple in humans as in monkeys (see Freund, 1991; Matelli and Luppino, 1997). Furthermore, since the electrical excitability of an area reflects (if reasonable stimulation parameters are used) the presence of corticospinal projections, the excitability of area 6α indicates that corticospinal fibers originate, in humans, from both area 4 and the caudal sector of area 6 (6α). This pattern of origin of the pyramidal tract is similar to that of the monkey, where the corticospinal tract originates from F1 (area 4) and the areas located in the caudal part of area 6 (F2, F3, F4 and a part of F5) (He et al. al., 1993, 1995; Luppino et al., 1994). (c) In both humans and monkeys, the frontal eye field and the finger field of area 6α are adjacent (see Paus, 1996). This proximity could be used as a marker to trace homologies between ape and human cortical areas”.

localização básica na filogênese”⁴⁷ (Ibidem, 1988, p. 292). Por fim, os cientistas concluem suas hipóteses da seguinte maneira:

“O sulco pré-central se desenvolve em humanos a partir de dois primórdios separados. Durante o desenvolvimento pré-natal, ambos apresentam um ramo horizontal que representa os primórdios do sulco frontal superior e do sulco frontal inferior respectivamente (Turner, 1948). (Observe que tipicamente no cérebro adulto também o sulco pré-central é formado por dois segmentos separados; veja Ono et al., 1990.) Considerando essa origem dupla do sulco pré-central, sugerimos que o sulco frontal superior, mais o sulco pré-central superior representa o homólogo humano do sulco arqueado superior do macaco. Assim, as duas áreas que ocupam a parte dorsal do giro pré-central e a parte caudal do giro frontal superior (dorsal 6α e 6β) em humanos correspondem às áreas F2 e F7 respectivamente no macaco. Esta homologia é suportada por dados citoarquitetônicos (Zilles et al., 1995). Da mesma forma, propomos que o sulco frontal inferior, mais o ramo ascendente do sulco pré-central inferior, correspondem ao sulco arqueado inferior do macaco, enquanto o ramo descendente do sulco pré-central inferior (que em humanos confina com o sulco frontal inferior) corresponde a covinha pré-central inferior do macaco. De acordo com essa visão, os dois setores motores ventrais do córtex motor humano (ventral 6α e área 44) deveriam ser os homólogos das áreas F4 e F5, respectivamente (ver, para uma visão semelhante, Petrides e Pandya, 1994). Em ambas as espécies essas duas áreas são separadas pelo sulco pré-central inferior (ramo descendente do sulco pré-central inferior em humanos, covinha pré-central inferior em macacos). O homólogo do macaco da área 45 humana é difícil de avaliar, porque a área definida no macaco como área citoarquitetônica 45 é uma área relacionada aos movimentos oculares (Suzuki e Azuma, 1983; Bruce et al., 1985). Por outro lado, a interessante possibilidade de desenvolvimento da área 45 a partir de 44 (e, portanto, do F5 em macaco) é desafiada pela presença na área 45 de uma camada granular clara”⁴⁸ (Ibidem, 1988, p. 292, parênteses dos autores).

⁴⁷ Trecho original: “[...] on motor córtex ontogeny and the assumption that the functional áreas delimited by the most ancient sulci maintain their basic location in the phylogenesis”.

⁴⁸ Trecho original: “The precentral sulcus develops in humans from two separate primordia. During prenatal development, both of them have a horizontal branch that represents the primordia of superior frontal sulcus and inferior frontal sulcus, respectively (Turner, 1948). (Note that, typically, in the adult brain also the precentral sulcus is formed by two separate segments; see

Os pesquisadores acrescentam que:

“O setor mais difícil do córtex frontal agranular humano ao qual atribuir uma homologia com o córtex do macaco é representado pelo córtex agranular caudal ao giro frontal médio. Este setor é frequentemente considerado o homólogo do “córtex pré-motor dorsal” do macaco com base na suposição de que a covinha pré-central superior do macaco de alguma forma corresponde ao sulco frontal superior humano. Esta visão, no entanto, é difícil de aceitar devido à posição caudal da covinha frontal superior do macaco que começa na fronteira entre F1 (área 4) e F2 (área 6), e especialmente porque no macaco esta covinha representa a fronteira entre os campos da perna e do braço. Certamente não é isso que o sulco frontal superior delimita em humanos. Diante desses fatos, nossa sugestão é que a região média do córtex frontal agranular humano seja homóloga do campo do braço do macaco F4, bem como, dentro do ramo ascendente do sulco pré-central inferior, de F5a β . Essa atribuição é sustentada pela proximidade da representação dos movimentos dos dedos e dos olhos em ambas as espécies. Além disso, de acordo com essa proposta, o desenvolvimento da fala determinou em humanos uma enorme expansão dos campos bucais de áreas homólogas a F4 e F5. Essa expansão se reflete em parte pelo aumento da parte inferior da área humana 6 (para aspectos executivos da fala) e ainda mais pelas áreas 44 mais 45 (para suas funções mais cognitivas). Os homólogos humanos do córtex do macaco correspondendo ao campo do braço de F4 e ao campo da mão de F5 (transformação de ação-objeto para mão mediadora) mantiveram sua localização média caudal à localização do campo para movimento dos olhos. Todas as homologias entre

Ono et al., 1990.) Considering this dual origin of the precentral sulcus, we suggest that the superior frontal sulcus, plus the superior precentral sulcus, represents the human homologue of the monkey superior arcuate sulcus. Accordingly, the two areas which occupy the dorsal part of the precentral gyrus and the caudal part of the superior frontal gyrus (dorsal 6a α and 6a β) in humans correspond to monkey areas F2 and F7 respectively. This homology is supported by cytoarchitectonic data (Zilles et al., 1995). Similarly, we propose that the inferior frontal sulcus, plus the ascending branch of the inferior precentral sulcus, correspond to the monkey inferior arcuate sulcus, while the descending branch of the inferior precentral sulcus (which in humans abuts the inferior frontal sulcus) corresponds to the inferior precentral dimple of the monkey. According to this view, the two ventral motor sectors of human motor cortex (ventral 6a α and area 44) should be the homologues of areas F4 and F5, respectively (see, for a similar view, Petrides and Pandya, 1994). In both species these two areas are separated by the inferior precentral sulcus (descending branch of the inferior precentral sulcus in humans, inferior precentral dimple in monkeys). The monkey homologue of human area 45 is difficult to assess, because the area defined in monkey as cytoarchitectonic area 45 is an area related to eye movements (Suzuki and Azuma, 1983; Bruce et al., 1985). On the other hand, the interesting possibility of a development of area 45 from 44 (and, therefore, from monkey F5) is challenged by the presence in area 45 of a clear granular layer.

espécies, especialmente quando o cérebro humano está envolvido são muito provisórias. No entanto, a semelhança geral da organização do córtex motor de humanos e macacos conforme descrito acima é encorajadora. Deve representar um forte estímulo para novas pesquisas na morfologia do córtex humano, especialmente considerando a atual disponibilidade de um grande número de novas técnicas histoquímicas e neuroquímicas, e para a elaboração de novos testes apropriados em experimentos de imagem cerebral”⁴⁹ (Ibidem, 1988, p. 292 – 294, aspas e parênteses dos autores).

De modo geral, tendo em vista o volume de detalhes que constituem tanto o córtex cerebral de símios quanto de humanos assumimos a hipótese de Bota e Arbib (2001, p. 337, *itálico do autor*), que “[...] o conceito de grau de homologia é mais apropriado quando se discute homologias de estruturas cerebrais entre espécies”⁵⁰. Curiosamente, a homologia da assimetria cortical da região de Broca identificada como área 44, segundo o mapa citoarquitetônico de Brodmann (1909), representado na figura 11, (2 – B), é reconhecida em muitos

⁴⁹ Trecho original: “The most difficult sector of the human agranular frontal cortex to which to assign homology to the monkey cortex is represented by the agranular cortex caudal to the middle frontal gyrus. This sector is often considered the homolog of the monkey's "dorsal premotor cortex" based on the assumption that the monkey's upper precentral dimple somehow corresponds to the human superior frontal sulcus. This view, however, is difficult to accept because of the caudal position of the monkey's upper frontal dimple which begins at the boundary between F1 (area 4) and F2 (area 6), and especially because in the monkey this dimple represents the boundary between the fields of the leg and arm. This is certainly not what the superior frontal sulcus delimits in humans. Given these facts, our suggestion is that the middle region of the human agranular frontal cortex is homologous to the field of the F4 monkey arm, as well as, within the ascending branch of the inferior precentral sulcus, of F5aβ. This attribution is supported by the proximity of the representation of finger and eye movements in both species. Furthermore, according to this proposal, the development of speech determined in humans an enormous expansion of the oral fields of areas homologous to F4 and F5. This expansion is reflected in part by the increase in the lower part of human area 6 (for executive aspects of speech) and even more by areas 44 plus 45 (for their more cognitive functions). The human homologs from the monkey cortex corresponding to the F4 arm field and the F5 hand field (action-object transformation to mediating hand) maintained their medial location caudal to the location of the field for eye movement. All homologies between species, especially when the human brain is involved, are very provisional. However, the general similarity in the organization of the motor cortex of humans and monkeys, as described above, is encouraging. It should represent a strong stimulus for further research into the morphology of the human cortex, especially considering the current availability of a large number of new histochemical and neurochemical techniques, and for the development of new tests appropriate in brain imaging experiments”.

⁵⁰ Trecho original: “[...] the concept of degree of homology is more appropriate to use when discussing homologies of brain structures across species”.

primatas não humanos. Segundo Cantalupo e Hopkins (2001, p. 505, parênteses do autor)⁵¹:

“Do ponto de vista evolutivo, portanto, a assimetria na área 44 pode estar associada à produção de gestos acompanhados de vocalizações em grandes símios, habilidade que acabou selecionada para o desenvolvimento de sistemas de fala em humanos modernos e talvez gerou mais dobras corticais no IFG [giro frontal inferior], levando à expansão da área 45 de Brodmann no cérebro humano. Qualquer que seja a função da área 44 em grandes símios, nosso achado de que essas espécies apresentam uma assimetria semelhante à humana não apenas nas regiões posteriores (como o planum temporale), mas também nas regiões frontais, indicam que a origem da assimetria em áreas relacionadas à linguagem do cérebro humano deve ser interpretada em termos evolutivos em vez de serem confinadas à espécie humana”⁵².

Nesse sentido, vale lembrar da hipótese de Rizzolatti e colaboradores, (1998, p. 294, parênteses dos autores) que:

“[...] o desenvolvimento da fala determinou em humanos uma enorme expansão dos campos bucais de áreas homólogas a F4 e F5. Essa expansão se reflete em parte pelo aumento da parte inferior da área humana 6 (para aspectos executivos da fala) e ainda mais pelas áreas 44 mais 45 (para suas funções mais cognitivas)”⁵³.

Além do mais, “[...] os substratos neuroanatômicos para a dominância do hemisfério esquerdo na produção da fala foram evidentes há pelo menos cinco milhões de anos e não são exclusivos da evolução dos hominídeos”⁵⁴ (Cantalupo

⁵¹ Fonte sugerida em comunicação pessoal com o professor do Departamento de Linguística e Filosofia do Instituto de Tecnologia do Massachusetts, Shigeru Miyagawa, em 10 de junho de 2022, ao final do evento “USP Lecture: Human Language in Evolution”.

⁵² Trecho original: “From an evolutionary standpoint, therefore, asymmetry in area 44 may be associated with the production of gestures accompanied by vocalizations in great apes, an ability that eventually selected for the development of speech systems in modern humans and perhaps generated more cortical folding in the IFG, leading to expansion of Brodmann’s area 45 in the human brain. Whatever the function of area 44 in great apes, our finding that these species show a human-like asymmetry not only in posterior (such as the planum temporale) but also in frontal regions, indicates that the origin of asymmetry in language-related areas of the human brain should be interpreted in evolutionary terms rather than being confined to the human species”.

⁵³ Trecho original: “[...] the development of speech determined in humans an enormous expansion of the oral fields of areas homologous to F4 and F5. This expansion is reflected in part by the increase in the lower part of human area 6 (for executive aspects of speech) and even more by areas 44 plus 45 (for their more cognitive functions)”.

⁵⁴ Trecho original: “[...] the neuroanatomical substrates for left hemisphere dominance in speech production were evident at least five million years ago and are not unique to hominid evolution”.

e Hopkins, 2001, p. 505). Em consonância com as hipóteses supracitadas o grupo de Parma sugere que:

“Embora nossos dados digam respeito essencialmente a ações da mão, porém, considerando a homologia entre a área F5 do macaco e a área de Broca humana, fica-se tentado a *especular* que neurônios com propriedades semelhantes às dos "neurônios espelho" do macaco, mas codificando gestos fonéticos, deveriam existir na área de Broca humana e deve representar o substrato neurofisiológico para a percepção da fala”.⁵⁵ (Gallese et al., 1996, p. 607, itálico nosso).

Antes de refletirmos sobre as bases neurobiológicas da percepção e produção da fala, cabe mencionar que ao reconhecer um certo grau de homologia entre os substratos neuroanatômicos e funcionais da área 6 em especial o setor F5 e a porção da área 44 de Broca, os autores correlacionaram o funcionamento dos NE em símios com um distúrbio neurocognitivo conhecido a mais de 150 anos no cérebro humano (Goldenberg, 2003). A apraxia e suas manifestações são causadas por lesões no hemisfério esquerdo do córtex cerebral (área de Broca), e provocam uma “[...] perturbação na fronteira entre a cognição e o controle motor”⁵⁶ (Ibidem, 2013, p. III do prefácio). Tendo em vista que inicialmente o termo apraxia aparece em correlação com outros conceitos que caracterizam diferentes distúrbios neurológicos é importante retomar sua contextualização.

3.3 Apraxia

O termo apraxia apareceu inicialmente em um livro publicado em 1871, pelo linguista alemão Hermann Steinthal⁵⁷ (Goldenberg, 2013). A palavra apraxia foi escrita no corpo do texto que tratava de outras disfunções neurológicas. Steinthal deu “[...] exemplos da diversidade de manifestações clínicas da afasia enfatizando que não é um distúrbio unitário, mas uma combinação de

⁵⁵ Trecho original: “Although our data concern essentially hand actions, however, considering the homology between monkey F5 and human Broca’s area, one is tempted to speculate that neurons with properties similar to that of monkey "mirror neurons", but coding phonetic gestures, should exist in human Broca’s area and should represent the neurophysiological substrate for speech perception”.

⁵⁶ Trecho original: “[...] disturbance at the boundary between cognition and motor control”.

⁵⁷ Hermann Steinthal, nascido em 16 de maio de 1823 em Gröbzig, Alemanha, falecido em 14 de março de 1899.

capacidades verbais e não verbais preservadas e perturbadas”⁵⁸ (Goldenberg, 2013, p. 13). Nesse sentido, as afasias se manifestam em combinação com outros distúrbios da qual inclui a apraxia. Vale mencionar que existem tipos de afasias, sendo a de Broca e Wernick reconhecidas como afasias clássicas, pois a lesão foi causada em áreas tradicionalmente correlacionadas ao processamento da linguagem. Para ilustrar as diferentes afasias reproduzimos o seguinte quadro:

Quadro 1 - Principais tipos de afasia.

Tipo de afasia	Fala	Compreensão	Capacidade de repetição	Outros sinais	Região afetada
Broca	Não fluente, com esforço	Bastante preservada para palavras isoladas e sentenças gramaticalmente simples	Comprometida	Hemiparesia direita (braço > perna); o paciente tem consciência do defeito e pode estar deprimido	Córtex frontal posterior esquerdo e estruturas subjacentes
Wernicke	Fluente, abundante, bem articulada, melódica	Comprometida	Comprometida	Sem sinais motores; o paciente pode estar ansioso, agitado, eufórico ou paranoico	Região do córtex superior posterior e médio do lobo temporal esquerdo
De condução	Fluente, com alguns defeitos de articulação	Intacta ou bastante preservada	Comprometida	Em geral, nenhum; o paciente pode ter perda sensorial cortical ou fraqueza no braço direito	Giros temporal superior e supramarginal esquerdos
Global	Escassa, não fluente	Comprometida	Comprometida	Hemiplegia direita	Maciça lesão perisylviana esquerda
Transcortical motora	Não fluente, explosiva	Intacta ou bastante preservada	Intacta ou bastante preservada	Algumas vezes, fraqueza no lado direito	Anterior ou superior à área de Broca
Transcortical sensorial	Fluente, escassa	Comprometida	Intacta ou bastante preservada	Sem sinais motores	Posterior ou inferior à área de Wernicke

Fonte: (Kuhl e Damásio apud Kandel, et al., trad. 2012/2014, p. 1188).

Ao interpretar o quadro das afasias observamos que existem diferentes possibilidades de manifestação e causação dos déficits neurocognitivos. Assim, compreendemos que ao destruir um ou mais circuitos neurais de uma área cerebral, os prejuízos em determinadas habilidades motora, sensorial ou cognitiva não dependem apenas da especialidade do circuito lesionado, mas também das conexões aferentes e eferentes que tal circuito está envolto. Aliás, um circuito que não tenha sido lesionado pode ficar isolado devido uma lesão em redes vizinhas. A propósito da diversidade e complexidade dos mecanismos que podem ser identificados a partir de uma ou mais lesões no encéfalo e suas

⁵⁸ Trecho original: “[...] gave examples of the diversity of clinical manifestation of afasia, emphasizing that it is not a unitary disorder but a combination of preserved and disturbed verbal and non-verbal capabilities”.

partes, vale citar a descrição feita por Steinthal sobre o caso clínico do compositor musical afásico:

“O paciente era afásico e anártrico; no entanto, ele permaneceu inteligente. Mas quando lhe pediram para escrever, ele pegou a caneta de cabeça para baixo; ele também pegou a colher e o garfo como se nunca os tivesse usado antes. Ele pediu seu violino, mas o agarrou tão desajeitadamente que era impossível tocá-lo. Esses sintomas não equivalem à anartria, mas à afasia, especificamente à confusão das palavras; porque não é o movimento dos membros que é inibido, mas a relação entre os movimentos e o objeto utilizado. A relação entre o mecanismo e sua finalidade é perturbada. Essa apraxia é uma amplificação óbvia da afasia. Em outra direção, a afasia se estende a uma incapacidade geral de compreender o sinal, a asemia”⁵⁹ (Steinthal, 1881, p. 458, apud Goldenberg, 2013, p. 13).

É interessante notar que a afasia e a anartria se manifestam tanto no nível do comportamento quanto na interface cognitiva do paciente. A respeito do conceito de anartria, cabe acrescentar o seguinte trecho do trabalho do neurologista francês Pierre Marie⁶⁰:

“A anartria em questão aqui é obviamente anartria por lesão focal do cérebro. Caracteriza-se pelo fato de a fala do paciente ser quase nula ou pelo menos incompreensível, a tal ponto que se poderia confundir nesse aspecto anartria com afasia de Broca; mas as características distintivas entre essas duas síndromes são numerosas e decisivas. Ao contrário dos afásicos, os anártricos entendem perfeitamente o que lhes é dito, mesmo quando se trata de frases complicadas; sabem ler e escrever e até conseguem indicar por sinais quantas sílabas ou letras são constituídas as palavras que não conseguem articular. Por esses diferentes caracteres facilmente se reconhecerá o quadro clínico cuja descrição aparece nos tratados clássicos sob o nome de afasia motora subcortical. Essa denominação havia sido proposta pelo Sr. Dejerine,

⁵⁹ Trecho original: “The patient had been aphasic and anarthric; yet he had remained intelligent. But when he was asked to write, he grasped the pen upside-down; he also took hold of spoon and fork as if he had never used them before. He asked for his violin, but gripped it so awkwardly that it was impossible to play on it. These symptoms are not equivalent to anarthria but to aphasia, specifically to the confusion of words; because it is not the movement of the limbs which is inhibited, but the relationship between the movements and the object used. The relationship between the mechanism and its purpose is disturbed. This apraxia is an obvious amplification of aphasia. In another direction aphasia extends to a general inability to comprehend sign, asemia”.

⁶⁰ Pierre Marie, nascido em 1853, falecido em 1940.

mas no Congresso de Medicina de Lyon, o Sr. Pitres mostrou que era necessário separar esse distúrbio de linguagem do grupo das afasias para aproximá-lo da paralisia pseudobulbar [...]. Esta opção do distinto professor de Bordeaux merece ser adotada inteiramente: anarthria não é afasia”⁶¹ (Marie, 1906, p. 243, tradução nossa).

Quando Steinthal reporta que a afasia é marcada pela incapacidade de compreender um sinal do qual chama de asemia cujo sinônimo é assimbolia, o linguista deixa claro que não deve haver uma distinção entre sítios cerebrais que medeiam tanto a apraxia quanto a assimbolia:

“A sede da ação simbólica não deve ser separada da das ações práticas. Para a máquina, o significado de um movimento é completamente irrelevante. O significado associado a um movimento não pode fazer diferença para o mecanismo fisiológico e um mesmo movimento pode ser ora simbólico, ora prático. Não pode fazer diferença para a mecânica fisiológica se eu levanto um braço para cumprimentar ou para trabalhar, se eu me ajoelho a serviço de Deus ou para fazer trabalhos manuais”⁶² (Steithal, 1881, p. 468, apud Goldenberg, 2013, p. 14).

De modo geral, as citações revelam o esforço dos pesquisadores em delinear os limites entre diferentes distúrbios neurológicos que acabam se correlacionam de forma sutil. Curiosamente, as passagens relembram a citação de (Rizzolatti e Strock apud Kandel, et. al., trad. 2012/2014, p. 363, *italico* nosso), de que “A informação sensorial necessária para a ação é o *produto* da interação

⁶¹ Trecho original: “L’anarthrie dont il est question ici est bien entendu, l’anarthrie par lésion en foyer du cerveau. Elle est caractérisée par ce fait que la parole du malade est ou à peu près nulle, ou du moins incompréhensible, à tel point qu’on pourrait, à cet égard, confondre l’anarthrie avec l’aphasie de Broca; mais les caracteres distinctifs entre ces deux syndromes sont nombreux et décisifs. Contrairement aux aphasiques, les anarthriques comprennent parfaitement ce qu’on leur dit, même quando il s’agit de phrases compliquées; ils peuvent lire et écrire et sont même capables d’indiquer par signes de combien de syllabes ou de lettres se composent les mots qu’ils sont hors d’état d’articuler. A ces différents caracteres, on reconnaîtra facilement le tableau clinique dont la description figure dans les traités classiques sous le nom d’aphasie motrice sous-corticale. Cette dénomination avait été proposée par M. Dejerine, mais au Congrès de médecine de Lyon, M. Pitres montra qu’il fallait détacher ce trouble du langage du groupe des aphasies pour le rapprocher de celui des paralysies pseudo-bulbaures [...]. Cette option du distingué professeur de Bordeaux mérite d’être adoptée entièrement: l’anarthrie n’est pas de l’aphasie”.

⁶² Trecho original: “The seat of symbolic action must not be separated from that of practical actions. To the machine the meaning of a movement is completely irrelevant. The meaning associated with a movement cannot make a difference to the physiological mechanism, and one and the same movement may sometimes be symbolic and sometimes practical. It cannot make a difference to the physiological mechanics whether I lift an arm for greeting or for working, whether I kneel in the service of god or for doing craft work”.

entre os sistemas motores e sensoriais. Em muitas circunstâncias, portanto, ação e percepção são inseparáveis.” Ou seja, a correlação entre uma ação, a percepção e sua representação cognitiva pressupõe a existência de múltiplos sistemas que operam de modo concomitante. Tal hipótese vai na contramão de uma citação empregada anteriormente que representa a visão tradicional da neurofisiologia que:

“A percepção, a cognição e a ação [são consideradas] como funções distintas e organizadas de forma sequencial: um indivíduo percebe o mundo, reflete sobre a representação interna resultante do mundo e, finalmente, age. Essa perspectiva relega ao sistema motor o papel de um aparato *passivo*” [itálico nosso] (Ibidem, p. 774).

Nesse sentido, ao refletirmos sobre as tênues fronteiras que diferem as características da afasia, apraxia, anartria ou assimbolia, podemos deduzir que as redes neurais destruídas por uma lesão desencadeiam prejuízos que perpassam pelos sistemas sensorial, motor e cognitivo. Além disso, como mencionando anteriormente, lesões em diferentes circuitos podem isolar uma rede neural que não foi lesionada, tornando se assim disfuncional. Entretanto, cabe mencionar que as ideias de Steinthal sugerem uma interpretação que se estende além da correlação entre a lesão de circuitos locais e déficits cognitivo, pois segundo Goldenberg (2013, p. 14), o linguista observou que algumas:

[...] habilidades simbólicas estão presentes em muitos pacientes e podem estar associados apenas a graus leves de dano cerebral, enquanto o uso defeituoso de objetos ocorre apenas em casos graves em combinação com afasia. Além disso, o uso do objeto se recupera mais cedo do que as aptidões simbólicas. Se ambas as habilidades fossem apoiadas por substratos anatomicamente distintos não haveria razão óbvia para que uma delas fosse mais vulnerável a danos cerebrais do que a outra, e deveria haver casos em que o uso de objetos fosse afetado mais severamente e se recuperasse mais tarde do que o uso de símbolos”⁶³.

⁶³ Trecho original: “[...] disturbances of symbolic abilities are present in many patients and can be associated with only mild degrees of brain damage, whereas defective use of objects occurs only in severe cases in combination with aphasia. Furthermore, object use recovers earlier than symbolic aptitudes. If both abilities were supported by anatomically distinct substrates there would be no obvious reason why one of them should be more vulnerable to brain damage than the other, and there should be cases where use of objects is affected more severely and recovers later than use of symbols”.

Nas palavras do linguista existem mecanismos psicológicos que não se perturbam simplesmente por lesões cerebrais:

“As associações baseadas em conexões de características arbitrárias e imateriais, puramente subjetivas (e os símbolos pertencem a esta categoria) tem pouco poder e se confundem mais facilmente do que associações baseadas em relações objetivas” (Steinthal, 1881, p. 471 apud Goldenberg, 2013, p. 15).

Segundo a perspectiva de Steinthal, a interface cognitiva possui sua própria forma de organização estrutural e funcional que em certa medida independe dos substratos neurobiológicos. Tendo em vista que o conhecimento neurocientífico sobre os sistemas motor, sensorial e cognitivo não são inteiramente conhecidos, compreendemos que apesar de cada mecanismo possuir suas especialidades, os mesmos recebem, processam e comunicam informações em conjunto.

Tendo em vista a interação entre diferentes mecanismos neurocognitivos reconhecidos com base na análise clínica de casos de lesão cranioencefálica, o grupo de Parma retomou a hipótese da homologia funcional entre o sistema de NE em símios em comparação com uma lesão cortical no hemisfério esquerdo na área de Broca. Para exemplificar como uma única área lesionada pode causar uma multiplicidade de prejuízos funcionais os pesquisadores sugeriram que:

“[...] o déficit de pantomima após a lesão de Broca é exatamente o tipo de déficit que se poderia prever se a área de Broca tivesse um mecanismo de reconhecimento de ação [processado pelos NE], como o descrito neste artigo”⁶⁴ (Gallese et al., 1996, p. 607).

A respeito do conceito de pantomima cabe acrescentar a seguinte citação:

“A pantomima é definida como o uso deliberado de movimento corporal ou manual para transmitir uma mensagem na ausência de fala [...], [é útil] para afásicos cuja perda ou comprometimento das habilidades verbais encorajaria a pantomima como uma modalidade substituta para comunicação”⁶⁵ (Duffy et al., 1975, p. 116).

⁶⁴ Trecho original: “[...] the pantomime deficit following broca’s lesion is exactly the kind of deficit that one would predict if the Broca’s area had a mechanism for action recognition like that described in the present paper”.

⁶⁵ Trecho original: “Pantomime, which is defined as the deliberate use of bodily or manual movement to convey a message in the absence of speech [...], to aphasics whose loss or

Em outras palavras, uma lesão nos circuitos neurais localizados na região de Broca pode causar no paciente apraxia ideomotora, da qual restringe a capacidade cognitiva de reconhecer o sentido de um gesto realizado por outra pessoa (Di Pellegrino et al., 1992). Nessa perspectiva, o coordenador do grupo de Parma, Giacomo Rizzolatti, sugeriu que o sistema de espelho pode ser interpretado como um “mecanismo - um mecanismo de espelho - que transforma uma *representação* sensorial em sua contraparte motora”⁶⁶. (Arbib, 2012, p. 124 – 125, *italico nosso*).

O conceito de representação sensorial utilizado por Rizzolatti é oriundo dos estudos de fisiologia realizados no final do século XIX (Jeannerod, 2006). Além dos experimentos tradicionais sobre o funcionamento do sistema sensório-motor para ações reflexivas (arco reflexo), os pesquisadores buscavam uma resposta neurofisiológica para o processamento de ações voluntárias. Ou seja, como a representação mental de um movimento é instanciada em bases neurais e sequenciada em ações motoras. Dentre os pesquisadores que investigaram clinicamente a questão, o grupo de Parma cita o nome do neurologista e psiquiatra alemão Hugo Liepmann⁶⁷ (1863 – 1925), que:

“[...] deu critérios claros de inclusão e exclusão para os 89 pacientes com lesões cerebrais unilaterais de seu “estudo em massa” de apraxia e os submeteu a uma coleção uniforme e teoricamente motivada de testes clínicos”⁶⁸ (Goldenberg, 2003, p. 512, *aspas do autor*).

Liepmann, investigou as bases neurofisiológicas que medeiam a transformação da imagem mental de um movimento em uma ação motora. O contato com pacientes que sofreram alguma lesão cranioencefálica ou que foram afetados por uma doença neurológica como a sífilis propiciou ao médico alemão formular hipóteses sobre a organização estrutural e funcional do sistema motor,

impairment of verbal abilities would encourage pantomime as a substitute modality for communication”.

⁶⁶ Trecho original: “a mechanism – the mirror mechanism – that transform a sensory representation into its motor counterpart”.

⁶⁷ Para um primeiro contato com a vida e a obra de Liepmann, sugerimos o artigo: Goldenberg, G. (2003). Apraxia and beyond: life and work of Hugo Liepmann. *Cortex*, 39(3), 509-524. Justificamos o uso da citação indireta dos trabalhos de Liepmann, pois são obras raras escritas em alemão que segundo nossa pesquisa não estão disponíveis em plataformas digitais.

⁶⁸ Trecho original: “[...] He gave clear inclusion and exclusion criteria for the 89 patients with unilateral brain lesions of his “mass study” of apraxia and subjected them to a uniform and theoretically motivated collection of clinical tests”.

sensorial e cognitivo. Liepmann recorreu a interpretação localizacionista tanto das funções motoras e sensoriais, quanto das capacidades cognitivas para inferir que a esfera psíquica está situada no tecido orgânico do cérebro.

É curioso pensar que ao investigar os substratos neurobiológicos de uma ação voluntária, ou seja, a escolha deliberada de fazer um gesto ou movimento como esticar o braço para pegar uma caneta sobre a mesa ou fazer um gesto para comunicar uma intenção ou ideia, a questão remete a dicotomia mente-corpo. Quer dizer, ao decidir pegar uma caneta sobre a mesa estamos recrutando o sistema cognitivo (mente) para deliberar uma ação que se manifesta sobre o sistema sensorio motor (corpo). Por exemplo, quando os dedos da mão pressionam a caneta, a informação sensorial do objeto é captada pelos neurônios aferentes que vão codificar e distribuir através de vias ascendentes informações sensoriais que vão perpassar pelo córtex cerebral e retornar aos dedos pelas vias descendentes. Ao olhar para a caneta sobre a mesa, a informação visual vai ser cooptada pelos neurônios aferentes da fóvea que vão codificar e distribuir para outros centros visuais. Desse modo, o sistema motor e sensorial operam em conjunto com o sistema cognitivo onde a intenção da ação foi deliberada. A propósito:

“Liepmann reconheceu ambos os lados da dicotomia mente-corpo como necessários para explicar o controle motor e a apraxia, mas suas simpatias estavam claramente no lado do corpo. Ele aderiu ao esforço materialista de substituir a mente imaterial pela mecânica das funções cerebrais”⁶⁹ (Goldenberg, 2013, p. 39).

A propósito, a dicotomia aparece nas entrelinhas da definição popular de apraxia como um:

“[...] distúrbio do movimento hábil não causado por fraqueza, acinesia, surdez, tônus ou postura anormal, distúrbios do movimento (como tremores ou corea), deterioração intelectual, má compreensão ou

⁶⁹ Trecho original: “Liepmann recognized both sides of the mind–body dichotomy as necessary for explaining motor control and apraxia, but his sympathies were clearly on the body side. He subscribed to the materialist endeavor to replace the immaterial mind by the mechanics of brain functions.”

falta de cooperação”⁷⁰ (Heilman & Rothi, 1993 apud Goldenberg, 2013, p. 2019).

De modo geral, o conceito de apraxia alude a fronteira entre a desordem sensório motora e a disfunção cognitiva. Ou seja, a apraxia compromete os mecanismos de baixo e alto nível encarregados pelo planejamento, controle e execução da ação. Afinal, cabe mencionar que o modelo teórico proposto por Liepmann retomou as hipóteses elaborados por Wernicke que o influenciou durante sua estadia como assistente de laboratório em Breslau na Polônia (Goldenberg, 2013). Segundo Goldenberg (2003), suas:

“[...] considerações teóricas partiram da divisão dos processos psíquicos de Wernicke em três seções: a psicossensorial, a intrapsíquica e a psicomotora (Liepmann, 1911). A seção psicossensorial medeia a transformação das sensações em ideias (“Vorstellungen”) e a seção psicomotora a transição das ideias em ações motoras. Wernicke havia confinado a localização cerebral da função a transformações psicossensoriais e psicomotoras, enquanto considerava os processos intrapsíquicos como produtos não localizáveis de todo o cérebro. O objetivo de Liepmann era estender a abordagem de localização aos processos intrapsíquicos: “Cada progresso na fisiologia e patologia do cérebro significa que a abordagem de localização ganhou um novo terreno da abordagem puramente psicológica”⁷¹ (Liepmann, 1905, p. 38, apud Goldenberg, 2003, p. 514).

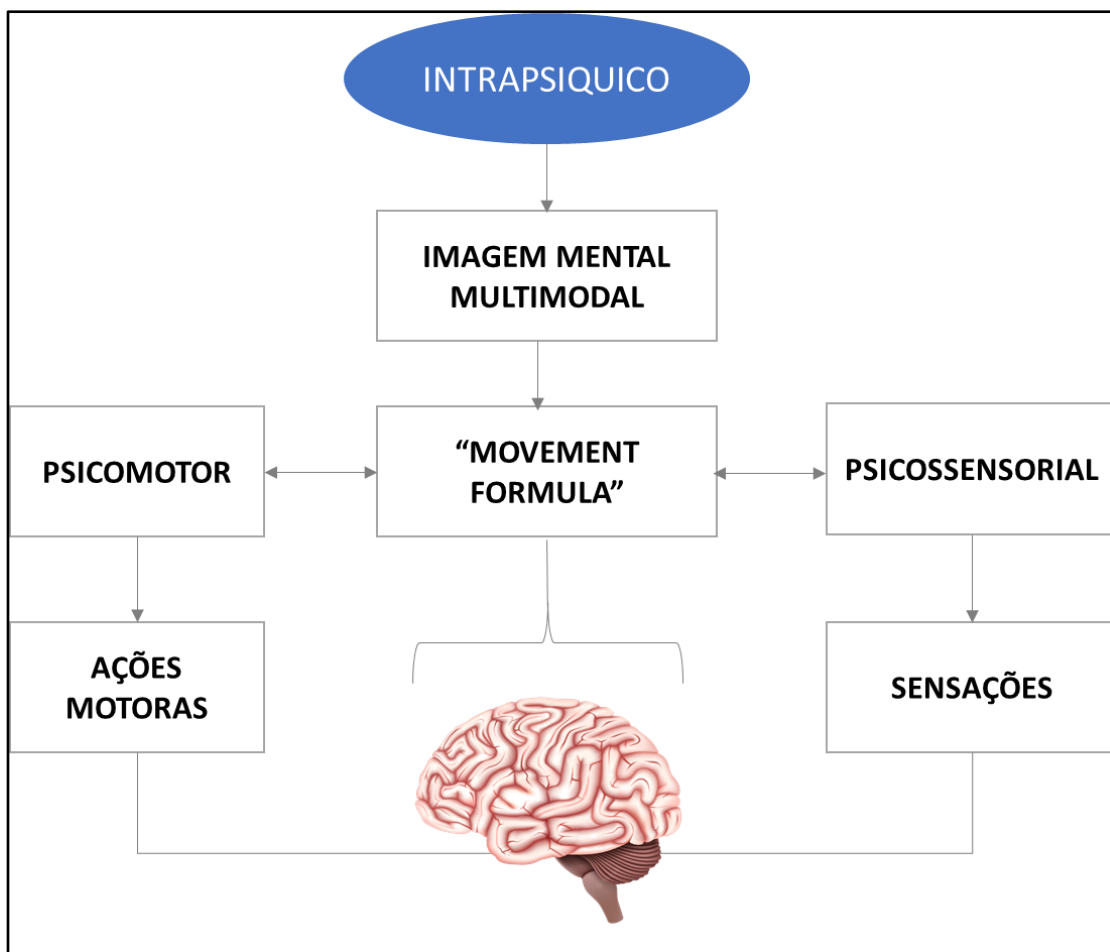
Para ilustrar as hipóteses supracitadas elaboramos o seguinte esquema:

⁷⁰ Trecho original: “[...] “disorder of skilled movement not caused by weakness, akinesia, deafferentation, abnormal tone or posture, movement disorders (such as tremors or chorea), intellectual deterioration, poor comprehension, or un-cooperativeness”.

Vale citar que “A Chorea é um distúrbio do movimento caracterizado por contrações musculares involuntárias, breves e migratórias”. Trecho original: “Chorea is a movement disorder characterized by random, brief and migratory involuntary muscle contractions” (Silva et al., 2021, p. 233).

⁷¹ Trecho original: “[...] theoretical considerations started from Wernicke’s partition of psychic processes into three sections: the psychosensory, the intrapsychic, and the psychomotor. The psychosensory section mediates the transformation of sensations into ideas (“Vorstellungen”) and the psychomotor section the transition of ideas into motor actions. Wernicke had confined cerebral localization of function to psychosensory and psychomotor transformations whereas he held intrapsychic processes to be non-localisable products of the whole brain. Liepmann’s aim was to extend the localising approach to intrapsychic processes: “Each progress in brain-physiology and pathology means that the localising approach has gained new terrain from the purely psychological one”.

Figura 12 - Correlação entre uma ação voluntária e sua manifestação motora segundo o modelo de Liepmann.



Fonte: Produção do próprio autor. A esfera intrapsíquica comporta a representação de uma ação a partir de imagens mentais multimodais. Liepmann propôs o termo fórmula do movimento (movement formula) para designar as imagens mentais de uma ação pretendida (Liepmann, 1900, apud Goldenberg, 2013). A representação imagética do movimento corresponde ao produto do processamento cerebral como um todo, ilustrado pela abrangência do colchete sobre o encéfalo. Em versões posteriores da sua teoria ou diagrama sobre a transformação de uma ação voluntária em movimentos corporais, o autor sugeriu que a fórmula do movimento se origina principalmente no hemisfério esquerdo. A transição das ideias em ações motoras é mediada pelo setor psicomotor, enquanto a transformação de sensações em ideias perpassa pelo setor psicossensorial. Ambos os setores seriam mais facilmente localizáveis no cérebro do que a esfera intrapsíquica.

Liepmann objetivou identificar em seus experimentos “[...] os mecanismos de perturbação comuns às três partes do modelo básico de Wernicke, incluindo as rotas intrapsíquicas antes inacessíveis”⁷² (Goldenberg, 2003, p. 516). Seus esforços foram dedicados a conhecer a partir da localização espacial das lesões cerebrais e das disfunções causadas ao sistema neuromotor, os centros

⁷² Trecho original: “[...] identified mechanisms of disturbance which are common to the three parts of Wernicke’s basic model, including the formerly inaccessible intrapsychic routes.”

cerebrais responsáveis pelo processamento da imagem mental do movimento. Logo, ele buscou identificar o *locus* onde o processo intrapsíquico das imagens da fórmula do movimento se originam. Segundo, Goldenberg (2013, p. 26, aspas do autor), Liepmann:

“[...] concebeu a representação original [do movimento] como imagens multimodais que especificam a configuração corporal pretendida ou o efeito pretendido da ação sobre o mundo externo. Ele chamou essas imagens de “fórmula do movimento”. Ele achava que eles eram dominados pela modalidade visual. Por exemplo, “no pentear a sequência de movimentos únicos é mantida pela influência das imagens visuais do pente, da cabeça e dos cabelos” (Liepmann, 1900, p. 123). A predominância da visão, porém, não é obrigatória. Por exemplo, ao tocar um instrumento musical os movimentos são guiados por imagens acústicas das melodias pretendidas e ao se coçar pela imagem somatossensorial da parte do corpo que coça. Essas imagens multimodais são preservadas na apraxia motora, mas sua desconexão da região motora central as priva do poder de controlar o fluxo sequencial de imagens cinético-cinestésicas locais”⁷³.

É curioso notar que em oposição a sugestão do linguista Steintal, Liepmann não compreendia o sistema cognitivo como uma entidade que possui sua própria forma de organização estrutural e funcional. Sua visão assume que a interface psíquica e seus processos (fórmula do movimento) estão correlacionados diretamente aos processos da substância orgânica do encéfalo. Em suas palavras, “O que é localizado é um produto da abstração não uma totalidade vívida”⁷⁴ (Liepmann, 1912, p. 4 apud Goldenberg, 2003, p. 513). Desse modo, suas hipóteses defendem que as diferentes manifestações funcionais dos processos intrapsíquicos podem ser vinculados as características espaciais da lesão cerebral. Ou seja, por um lado existem funções específicas da esfera

⁷³ Trecho original: “[...] conceived of the original representation as multimodal images specifying the intended body configuration or the intended effect of the action upon the external world. He named these images “movement formula.” He thought that they were dominated by the visual modality. For example, “in combing the sequence of single movements is maintained by the influence of visual images of the comb, the head, and the hairs” (Liepmann, 1900, p. 123). The predominance of vision is, however, not obligatory. For example, when playing a musical instrument, the movements are guided by acoustic images of the intended melodies, and when scratching oneself by the somatosensory image of the itching body part. These multimodal images are preserved in motor apraxia but their disconnection from the central motor region deprives them of the power to control the sequential flow of local kinetic–kinesthetic images”.

⁷⁴ Trecho original: “What is localised is a product of abstraction, not a vivid totality”.

intrapésíquica que estão instauradas em uma determinada área do cérebro, (localização regional), enquanto outras estão ocorrendo em grandes regiões ou em torno de todo o cérebro (localização estrutural). De acordo com Liepmann:

“A contraposição à localização não é a afirmação de que muitas regiões do cérebro estão envolvidas em uma função psíquica, mas a negação de qualquer relação entre estrutura (anatômica) e função (psíquica)”⁷⁵ (Liepmann, 1912, p. 5 apud Goldenberg, 2003, p. 514, parênteses do autor).

Em suma, a abordagem localizacionista de Liepmann reflete o trabalho de seus antecessores como ele mesmo afirma:

“O quadro clínico que demonstramos e analisamos é mais um passo no caminho pavimentado por Broca, Wernicke e outros. Esses cientistas provaram que certas “habilidades” da mente, como são assumidas pela psicologia popular, se perdem após danos a partes circunscritas do cérebro. O dano de um território definido destrói uma habilidade definida como a expressão linguística do pensamento e o dano de outro, a compreensão da linguagem, enquanto a compreensão de entidades visuais, acústicas e táteis depende da integridade de outras partes do cérebro. A apraxia se acrescenta a essas doenças parciais da mente causadas por um novo dano cerebral circunscrito. Danos a uma parte do cérebro destroem o que a psicologia popular chama de governo dos membros pela mente. Além disso, parece que este governo pode ser abolido independentemente apenas para o lado direito ou esquerdo do corpo. A psicologia popular explicaria essa condição dizendo que a vontade perdeu o controle da metade direita do corpo, embora o aparato de movimento esteja intacto”⁷⁶ (Liepmann, 1900, p. 191, apud Goldenberg, 2013, p. 26).

⁷⁵ Trecho original: “The contraposition to localisation is not the assertion that many regions of the brain are involved in a psychic function, but the denial of any relationship between (anatomical) structure and (psychic) function”.

⁷⁶ Trecho original: “The clinical picture which we have demonstrated and analyzed is a further step on the way paved by Broca, Wernicke and others. These scientists have proven that certain “abilities” of the mind as they are assumed by popular psychology get lost after damage to circumscribed parts of the brain. Damage of one defined territory destroys one defined ability like the linguistic expression of thought, and damage of another the comprehension of language, while comprehension of visual, acoustic, tactile entities depends on intactness of still other parts of the brain. Apraxia adds to these partial diseases of the mind caused by circumscribed brain damage a new one. Damage to a part of the brain destroys what popular psychology calls the government of the limbs by the mind. Moreover, it appears that this government can be abolished independently for only the right or the left side of the body. Popular psychology would explain this

Para esclarecer e exemplificar a manifestação da apraxia cabe descrever um dos casos mais conhecidos do trabalho de Liepmann, o caso do conselheiro imperial. Em 10 de fevereiro de 1900, um homem de 48 anos que trabalhava como engenheiro no escritório de patentes imperial onde recebeu o título de conselheiro imperial foi admitido no hospital psiquiátrico de Dalldorf na Alemanha com os seguintes sintomas: confusão, depressão e afasia (Goldenberg, 2013). Ele havia contraído sífilis há muitos anos, porém precisou recorrer ao serviço hospitalar quando os sintomas se agravaram. O médico recém-formado Hugo Liepmann havia sido admitido a pouco tempo no hospital onde o conselheiro imperial deu entrada e relatou o primeiro encontro da seguinte maneira:

“Vi o paciente pela primeira vez em 17 de fevereiro. Pediram-lhe que apontasse para certos objetos e realizasse certos movimentos das mãos. Ele falhou em quase tudo, manuseando objetos de forma absurda. À primeira vista, parecia que o paciente não entendia — que ele era corticalmente surdo, possivelmente também corticalmente cego. No entanto, notei certos movimentos bizarros e distorcidos que ele fez durante o exame; foram confinados à extremidade superior direita que o paciente utilizou exclusivamente durante o período de observação. Esse comportamento motor peculiar me fez pensar se suas respostas incorretas refletiam uma falta básica de compreensão ou melhor, uma execução motora defeituosa. Para resolver essa questão segurei a mão direita do paciente e o forcei a usar a mão esquerda. Agora, de repente, o quadro mudou. Com a mão esquerda ele imediatamente selecionou a carta que foi pedida entre cinco cartas dispostas à sua frente. O mesmo teste repetido com a mão direita levou em geral a respostas errôneas. Eu então estabeleci que a situação era a mesma em relação às extremidades inferiores. O paciente conseguiu imitar os movimentos do meu pé com o pé esquerdo, mas falhou completamente com o pé direito. Assim, foi estabelecido que o paciente não tinha surdez para palavras nem cegueira mental”⁷⁷ (Liepmann, 1900, p. 19, apud Goldenberg, 2013, p. 19).

condition by saying that the will has lost control of the right half of the body although the movement apparatus is intact”.

⁷⁷ Trecho original: “I saw the patient for the first time on February 17. He was asked to point to certain objects and to carry out certain hand movements. He failed in almost everything, handling objects quite absurdly. At first sight it appeared as if the patient did not understand—that he was cortically deaf, possibly also cortically blind. However, I noted certain bizarre and distorted movements which he made during the course of the examination; they were confined to the right upper extremity which the patient used exclusively during the period of observation. This peculiar

Inicialmente, Liepmann considerou que o conselheiro imperial estava corticalmente cego e surdo, ou seja, era incapaz de formar imagens mentais visuais, assim como, imagens mentais acústicas. No entanto, ao observar que era capaz de reconhecer, reproduzir e comandar alguns movimentos, o diagnóstico precisou ser reavaliado. O médico constatou que o paciente conseguia se comunicar através da fala, mas com um pequeno repertório de palavras como “sim”, “oh Deus”, e “não”. No entanto, ele era incapaz de repetir uma palavra. Além do mais, quando o paciente recebia alguma orientação verbal sobre uma tarefa que devesse realizar empregando alguma parte do corpo, foi observado que sua assertividade variava de acordo com o lado utilizado na tarefa. Por exemplo, foi solicitado ao paciente que escrevesse algumas palavras ditadas oralmente, ao observar seu desempenho, constatou-se que as palavras escritas com a mão esquerda apresentavam traços irregulares, mas era reconhecível. Enquanto a mesma tarefa executada com a mão direita resultou em traços irreconhecíveis. Em outro experimento foi orientado ao paciente que estava com os olhos vendados que apontasse o local onde uma de suas mãos tinha sido tocada. No geral, o resultado apresentou erros de localização espacial semelhantes para ambas as mãos. Por exemplo, ao tentar localizar com a mão esquerda o espaço tocado sobre sua mão direita, o paciente localizava o toque sobre seu antebraço. Outro exame constatou que o paciente manuseava os objetos segurados com a mão direita de forma inadequada:

“[...] ao receber um pente, a mão direita o enfiava atrás da orelha como se fosse uma caneta. A mão direita usou uma escova de dentes como uma caneta em uma ocasião e colocou o cabo na boca em outra. Em uma terceira tentativa, a mão direita pegou a escova de dentes como uma colher, remexeu com ela e finalmente a colocou na boca”⁷⁸ (Goldenberg, 2013, p. 20).

motor behaviour made me wonder if his incorrect responses reflected a basic lack of comprehension or, rather, faulty motor execution. To resolve this question, I held on to the patient's right hand and forced him to use his left hand. Now, all of a sudden, the picture changed. With his left hand he immediately selected the card that was asked for from among five cards laid out in front of him. The same test repeated with the right hand led in general to faulty responses. I then established that the situation was the same as regards his lower extremities. The patient could imitate movements of my foot with his left foot but failed altogether with his right foot. Thus, it was established that the patient had neither word-deafness nor mind-blindness”.

⁷⁸ Trecho original: “[...] when given a comb the right hand stuck it behind the ear like a pen. The right hand used a toothbrush like a pen on one occasion and put the handle into the mouth on

No entanto, algumas ações habituais que faziam parte do cotidiano do conselheiro imperial como abotoar ou desabotoar um botão, ou fumar um charuto eram quase sempre bem-sucedidas quando realizadas com a mão direita. Nas palavras de Liepmann:

“O paciente é sempre capaz de abotoar e desabotoar. No entanto, isso quase nunca acontece após um primeiro pedido, e às vezes é necessária muita exortação para que ele comece a ação. Mas uma vez que os dedos tocaram o botão, o restante da ação é executado com considerável destreza, mesmo quando os olhos estão fechados”⁷⁹ (Liepmann, 1900, p. 32, apud Goldenberg, 2013, p. 20).

A propósito da coordenação bimanual, o paciente demonstrou congruência em algumas tarefas como tocar piano, mesmo cometendo alguns erros. Em contrapartida, outras atividades como passar manteiga em uma fatia de pão ou fazer um nó em um lenço revelaram que o paciente era incapaz de empregar ambas as mãos na realização de uma mesma ação. Aliás, quando requisitado ao conselheiro imperial que despejasse a água contida em um jarro dentro do copo foi observado que:

“A mão esquerda pega o jarro e quer servir, mas ao mesmo tempo a mão direita leva o copo vazio à boca. Se alguém segurar o copo e, assim, permitir que a mão esquerda despeje, consegue ter mais problemas”⁸⁰ (Liepmann, 1900, p. 35, apud Goldenberg, 2013, p. 20).

No geral, podemos inferir que as descrições apresentadas sobre o caso clínico do conselheiro imperial revelam que o sistema motor, sensorial e cognitivo estavam operando separadamente. Por exemplo, por um lado é possível realizar um movimento e até imita-lo, por outro, o sentido da ação não condiz com o objeto manuseado. Além disso, dependendo do lado do corpo empregado na ação é possível constatar essa ou aquela disfunção, ou até mesmo ambas. Nessa perspectiva, como infere Liepmann, a separação das habilidades

another. On a third trial the right hand took the tooth-brush like a spoon, shoveled with it, and finally put it into the mouth”.

⁷⁹ Trecho original: “The patient is always capable to button and unbutton. However, this happens virtually never after a first request, and sometimes much exhortation is necessary to get him to begin the action. But once the fingers have touched the button, the remainder of the action is performed with considerable deftness, even when the eyes are closed”.

⁸⁰ Trecho original: “The left hand takes the jug and wants to pour, but at the same time the right hand leads the empty glass to the mouth. If one holds onto the glass and thus enables the left hand to pour, it succeeds without further problems”.

motoras, sensoriais e cognitivas decorrem de danos em certas áreas cerebrais do paciente. A fotografia do conselheiro imperial ilustra como o comando bimanual está separado da intenção da ação, revelando assim a incoerência pragmática do sentido dos objetos manuseados.

Figura 13 - Fotografia do conselheiro imperial.



Fonte: Liepmann, 1900, p. 34 apud, Goldenberg, 2013, p. 21.

Tendo em vista a análise dos experimentos comportamentais e os exames clínicos realizados com o conselheiro imperial, Liepmann completou seu modelo teórico sobre a apraxia a partir do exame cerebral *pós-mortem*. O médico relatou que várias lesões podem isolar a região motora central do restante do cérebro, mesmo que esse sistema não tenha sido prejudicado pelo traumatismo. Ou seja, as conexões aferentes e eferentes do sítio cortical motor não

conseguem estabelecer comunicação devido a obstrução de redes intermediárias. Liepmann observou que o fato do conselheiro imperial conseguir abotoar ou desabotoar um botão corresponde ao funcionamento de um circuito neural restrito, isto é, uma rede neural específica que por ter sido preservada mediante a lesão funciona normalmente. De forma resumida, as observações sugerem que uma lesão no tecido cerebral pode separar, obstruir ou desregular parcialmente ou integralmente uma ou mais funções do sistema motor, sensorial e cognitivo. Estudos posteriores ao caso do conselheiro imperial levou Liepmann a sugerir “[...] que a afasia e a apraxia são sintomas independentes da lesão cerebral esquerda”⁸¹ (Goldenberg, 2013, p. 29). Ou seja, o hemisfério esquerdo seria a sede responsável pelas disfunções neurocognitivas em ambos os casos. Essa unilateralidade foi considerada pelo médico como sendo crucial para o diagnóstico da apraxia. Além disso, ele observou que uma lesão no corpo caloso (conjunto de fibras que une ambos os hemisférios), causava a privação comunicativa entre o córtex motor direito com o córtex motor esquerdo, ocasionando assim conflitos entre a intenção deliberada de um movimento e sua realização, assim como a sincronicidade dos movimentos realizados por ambos os lados do corpo.

A partir do exame de diferentes casos clínicos Liepmann elaborou seu modelo geral sobre o controle voluntário de uma ação. Descrevendo com os termos da época, ele propôs seu modelo geral sobre “[...] o governo dos membros pela mente”⁸² (Goldenberg, 2013, p. 32). O quadro abaixo ilustra as características que distinguem os três tipos de apraxia.

⁸¹ Trecho original: “[...] that aphasia and apraxia are independent symptoms of left brain injury”.

⁸² Trecho original: “[...] the government of the limbs by the mind”.

Quadro 2 - Manifestações da apraxia.

	Limb-kinetic	Ideo-kinetic	Ideational
<i>Body part specificity</i>	+	+	-
<i>Task specificity</i>			
Imitation	-	+	+
Emblematic gestures and pantomime of tool use	+	+	-
Use of tools and objects	+	-	+

Fonte: Goldenberg (2013, p. 37). O quadro ilustra três tipos de apraxia: Limb-kinetic, Ideo-kinetic e Ideational. As tarefas realizadas pelo paciente segundo o tipo de apraxia estão marcadas com o símbolo (+), e irrealizadas (-).

O quadro lista três tipos de apraxia. A primeira (limb-kinetic, também reconhecida como ideomotora), corresponde a impossibilidade de executar uma ação planejada mentalmente, sua causa está ligada a lesões no centro motor. A imagem mental do movimento está preservada, porém sua execução é impraticável. A segunda (ideo-kinetic), diz respeito a perda de memórias cinestésicas ou inervatórias que inviabilizam um movimento. Ou seja, a cinemática das extremidades está preservada, porém dissociada da memória ideacional do movimento. Sua causa está correlacionada a lesões no centro motor, assim como no hemisfério esquerdo. Por fim, a apraxia ideacional (ideational), concerne a perturbação das associações entre as transformações psicomotoras, psicossensoriais e intrapsíquicas, mesmo tendo a combinação dos elementos sensoriais preservados. Sua origem está relacionada a lesões distribuídas por todo o cérebro do qual inclui o corpo caloso e em especial o hemisfério esquerdo.

Segundo Liepmann, “A desintegração disjuntiva está contida no que geralmente chamamos de empobrecimento dos conceitos”⁸³ (Liepmann, 1908, p. 616, apud Goldenberg 2003, p. 515). Para ilustrar a apraxia ideacional, vale lembrar o caso clínico da paciente que utilizou um abajur como se fosse um guarda-chuva. Ou seja, o formato do objeto estimulou associações generalizadas que perpassam pelo manuseio do utensílio (limb-kinetic), assim

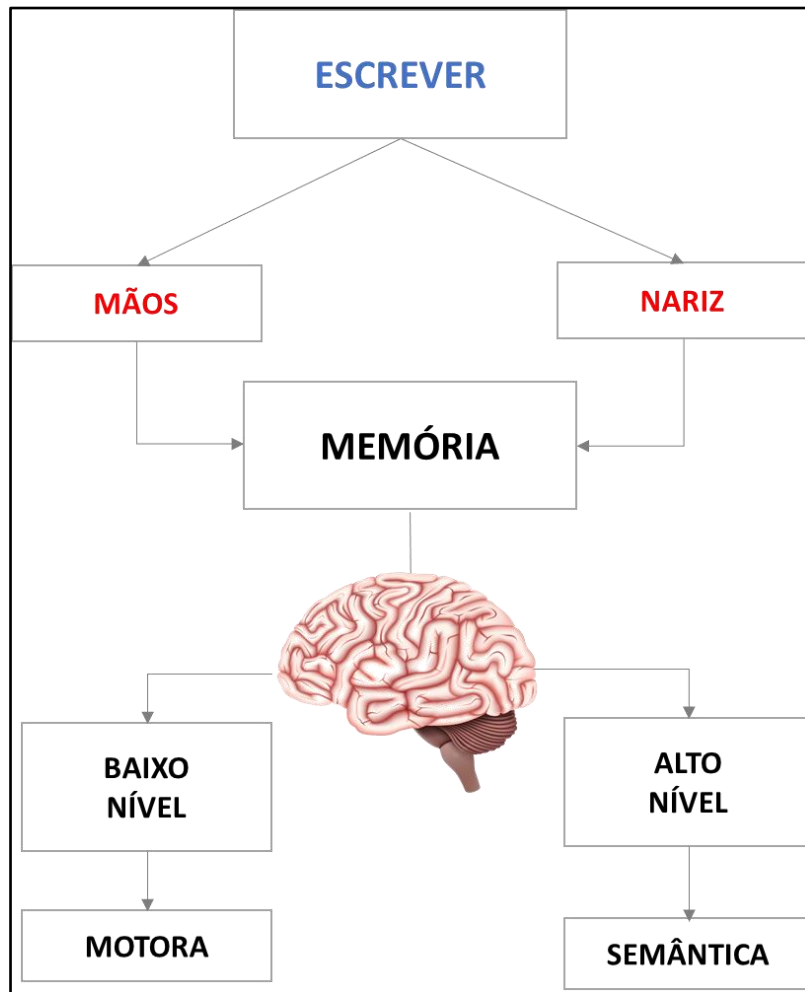
⁸³ Trecho original: “The disjunctive desintegration is contained in what we generally call impoverishment of concepts”.

como pela memória cinestésica inervatória (ideo-kinetic), além do sentido pragmático e semântico do objeto (ideational). Desse modo, é pertinente inferir que a representação mental do sentido de um conceito ou de uma ação foi comprometido devido a separação estrutural e funcional entre o sistema motor, sensorial e cognitivo.

Para concluir o exame das hipóteses sugeridas por Liepmann, vamos analisar a correlação entre a apraxia e o funcionamento da linguagem juntamente com as inferências propostas pelo grupo de pesquisadores de Parma. Um caso interessante para citar devido seu caráter ilustrativo diz respeito ao paciente apráxico que não conseguia escrever com ambas as mãos. Apesar da limitação no controle motor das mãos para executar movimentos de escrita, o paciente conseguia “[...] escrever com o nariz sobre uma folha de vidro enegrecida de fuligem (Liepmann, 1992)”⁸⁴ (Goldenberg, 2003, p. 512). Segundo Liepmann, o caso ilustra que mesmo tendo uma lesão no hemisfério dominante para a linguagem, ou seja, o lado esquerdo do cérebro, o paciente reteve a competência da escrita pela memória. Descrevendo de outro modo, apesar dos circuitos neurais da esfera psicomotor e psicossensorial terem sido comprometidos por uma desorganização estrutural que inviabilizou a codificação de informações que subjazem os movimentos da escrita com as mãos, o mecanismo funcional da esfera intrapsíquica, isto é, a memória, assegurou a retenção da competência da escrita. Para Liepmann, o caso revela que o paciente sofria de um tipo de apraxia restrita aos circuitos neurais encarregados pela codificação dos movimentos de escrita com as mãos. Afinal, para escrever com o nariz, o paciente teve que reter tanto a memória motora dos movimentos gráficos da sua língua materna, quanto a memória semântica de tais movimentos, ou seja, seu sentido. De modo geral, podemos inferir que existem dois vértices de organização estrutural e funcional da linguagem, o primeiro corresponde ao sistema sensório-motor e o segundo a esfera cognitiva onde são processados o sentido das palavras. O próximo esquema resume os pressupostos apresentados.

⁸⁴ Trecho original: “[...] write with the nose on a sheet of glass blacked with soot”.

Figura 14 - Organização estrutural e funcional do ato de escrever.



Fonte: Produção do próprio autor. A capacidade de escrever com o nariz e não com as mãos alude a desorganização estrutural de circuitos neurais especializados na codificação de informações motoras que subjazem os movimentos gráficos das mãos. Ao escrever com o nariz, o encéfalo do paciente recruta circuitos neurais da memória motora que ao se comunicarem com a memória de alto nível viabilizam a inteligibilidade da escrita, ou seja, a forma gráfica possui um sentido.

Liepmann fez uma correlação interessante entre os movimentos das mãos e dos órgãos da fala ao compara-los a movimentos sem objetos. Quer dizer, assim como a articulação das mãos durante um ato de fala não requer o manuseio de qualquer objeto, a fala em si também não precisa da mediação de algum artefato, ou seja, os movimentos são realizados sem qualquer interação com um objeto. Sendo assim, a capacidade de articular gestos da fala para transmitir algum sentido está correlacionado com a capacidade da memória. Em suas palavras:

“[...] o ato motor de falar também é um movimento sem objetos. Durante a fala, língua, boca e palato realizam apenas deslocamentos

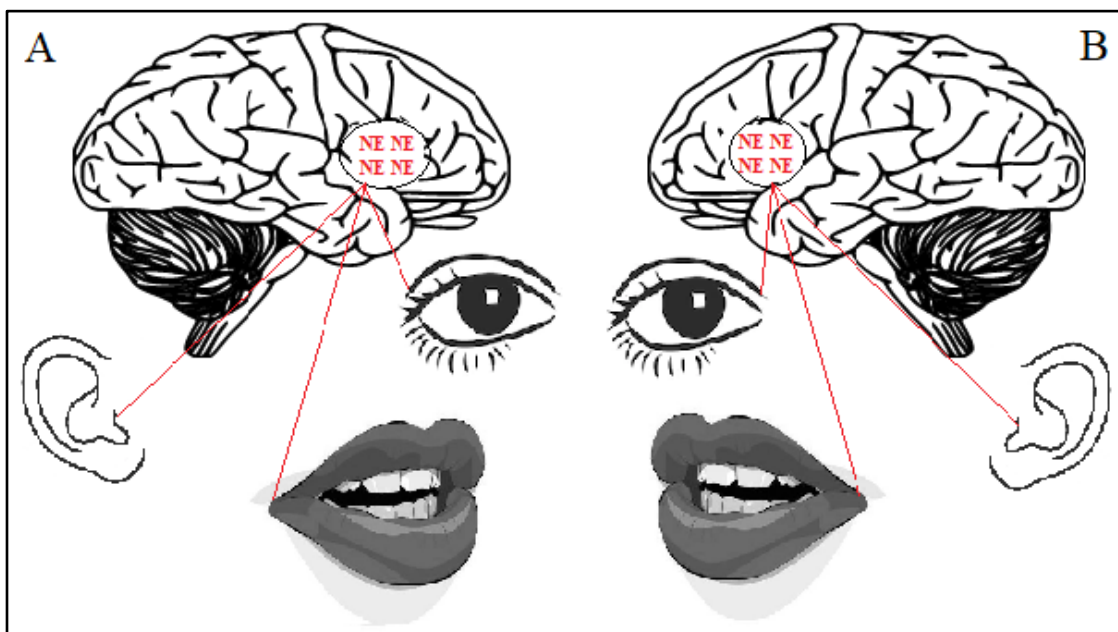
de suas relações espaciais, como a mão em movimentos expressivos ou na simulação de uso de objetos. O controle que o ouvido exerce durante a fala não equivale à orientação que a mão e o ouvido recebem dos objetos: o som chega tarde demais. A superioridade do hemisfério esquerdo para a fala pode assim ser referida à sua dominância geral para movimentos sem objetos, puramente de memória. (Liepmann, 1908, p. 49)⁸⁵ (Liepmann, 1908, p. 49, apud Goldenberg, 2013, p. 185).

Nesse sentido, parece plausível sugerir que a linguagem apresenta dois vértices de funcionamento que são processados no mesmo hemisfério cerebral. O primeiro comporta os programas neuromotores que subjazem a produção e percepção da fala (competência inferior), e o segundo remete aos gestos articulatórios da fala representados na memória (competência superior). Portanto, compreendemos que ao empregar a expressão “puramente de memória”, Liepmann remete a um mecanismo instanciado na esfera intrapsíquica. Aliás, o caso do paciente que escrevia com o nariz ilustra que a memória motora e conceitual são neurobiologicamente codificadas separadamente, pois a obstrução estrutural de um não alterou a organização funcional do outro. Afinal, apesar de ambas competências terem sido correlacionadas ao mesmo hemisfério cerebral, a esfera intrapsíquica parece possuir sua própria forma de organização estrutural e funcional em relação a esfera psicomotor e psicossensorial. Por esse motivo, é possível reviver um movimento apenas pela memória, assim como seu sentido. Melhor dizendo, é natural recuperar mentalmente o sentido de uma fala sem precisar executá-lo. Afinal de contas, mesmo tendo sugerido uma localização cortical para as esferas psicomotor, psicossensorial e intrapsíquico, compreendemos que a cerebralização de tais esferas não explica como, quando e porque esses mecanismos subjazem a manifestação objetiva ou subjetiva de cada competência. Colocando em poucas palavras, localizar não significa explicar.

⁸⁵ Trecho original: “[...] the motor act of speaking is also a movement without objects. During speaking, tongue, mouth, and palate perform only shifts of their spatial relationships, like the hand in expressive movements or in pretending object use. The control that the ear exerts during speaking is not equivalent to the guidance that hand and ear receive from objects: The sound comes too late. The superiority of the left hemisphere for speaking can thus be referred to its general dominance for movements without objects, purely from memory”.

Retomando as hipóteses da equipe de Parma sobre a correlação entre apraxia, linguagem e NE, interpretamos que ao comparar as características funcionais da apraxia ideomotora causada por uma lesão na área de Broca e o funcionamento dos NE localizados no córtex pré-motor do macaco (área 6, setor F5), os cientistas observaram que se trata de um mecanismo funcional semelhante. Ou seja, o déficit de pantomima causado por danos em redes neurais localizados na região de Broca equivale a obstrução funcional dos NE que codificam informações sobre o reconhecimento do sentido de uma ação realizada por outro indivíduo. Recapitulando as inferências a partir da perspectiva funcional dos NE podemos sugerir que ao disparar salvas de potencial de ação mediante a captação de um estímulo sensorio motor de uma ação linguística, os NE codificam informações multimodais, nesse caso audição (ouvidos) e motor (boca) que ao serem combinados facilitam o reconhecimento do sentido de uma ação comunicativa. Nessa perspectiva, parece plausível considerar que essa classe de neurônios processa informações de ambos os níveis, isto é, sensorio motor (baixo), e cognitivo (alto). No entanto, o reconhecimento do sentido de uma ação como sugerido pelo grupo de Parma, ocorre de modo automático, isto é, sem autoconsciência. Logo, compreendemos que os NE codificam informações que perpassam pelas esferas psicomotor e psicossensorial sem interferência da esfera intrapsíquica, isto é, sem uma representação simbólica do sentido do movimento. Portanto, o reconhecimento do sentido de uma ação, seja ela realizada com as mãos ou por meio de gestos linguísticos da boca, ocorre devido a correspondência entre o repertório de representações motoras instanciado nos circuitos de NE localizados no córtex cerebral tanto do emissor (ator) quanto do receptor (observador). Afinal, os NE não tem a capacidade de reconhecer o sentido de uma ação *per se*, pois são apenas células neurais. Desse modo, inferir que uma única classe de neurônios seja responsável pela mediação de informações de alto nível, remete a um reducionismo que não condiz com o conhecimento disponível sobre a organização estrutural e funcional do encéfalo e suas partes.

Figura 15 - Circuitos de NE na área de Broca no córtex cerebral do emissor e receptor.



Fonte: Produção do próprio autor. A imagem ilustra o circuito de NE localizado na área de Broca no córtex cerebral esquerdo do emissor em (A), e do receptor em (B). As linhas vermelhas aludem as conexões aferentes e eferentes dos NE multimodais que codificam informações providas da audição, visão e dos movimentos motores da boca durante o ato de fala. Ao dispararem potenciais de ação no córtex do emissor, os NE codificam informações que medeiam a articulação dos músculos da fala que vão produzir os fonemas. Os gestos motores da fala são representados internamente pela codificação dos NE em forma de um dicionário motor. Ao descarregarem potenciais de ação no córtex do receptor, os NE codificam informações multimodais advindas do emissor que vão ser recuperadas no repertório motor do receptor. Ao combinar o sinal de entrada sensorial em sua contraparte motora, os NE evocam no repertório de representações sensório motora no córtex cerebral do receptor, previsões sobre os possíveis sentidos de uma ação motora da fala. Caso o dicionário motor tanto do emissor quanto do receptor não possua uma representação interna da informação incorporada, o circuito de NE não codifica informações que viabilizem o reconhecimento do sentido gestual de uma ação linguística.

Por fim, vale mencionar duas questões apontadas por Liepmann sobre a natureza estrutural e funcional da linguagem. A primeira decorre da observação sobre a segmentação e combinação de ações motoras segundo o tipo de apraxia. No quadro (2) apresentado anteriormente, Liepmann destacou que a imitação, gestos emblemáticos, a pantomima do uso de ferramentas, assim como o uso de objetos e utensílios podem ou não ser realizados segundo o tipo de apraxia. Por exemplo, uma lesão local no tecido cortical do hemisfério esquerdo pode revelar uma desorganização estrutural e funcional das esferas psicomotor, psicossensorial e intrapsíquico que leva o paciente a realizar associações sem sentido entre um objeto e sua função como ilustra o caso do paciente que usou um abajur como se fosse um guarda-chuva. Nesse caso, o sentido pragmático de um objeto foi separado, ou seja, se perdeu mediante a

lesão. Na verdade, o sentido passou a ser generalizado conforme as características do objeto (formato do guarda-chuva e do abajur). A segunda questão sobre a natureza da linguagem remete a habilidade de combinar elementos. Goldenberg (2013, p. 222), menciona que Liepmann considerava que uma das características dos sistemas combinatórios é “[...] sua capacidade de criar uma ampla diversidade de novas entidades a partir de um repertório limitado de elementos constantes”⁸⁶.

“A riqueza combinatória das ações manuais envolvidas na apraxia é certamente mais modesta do que a da linguagem. O sistema combinatório que produz ações e gestos manuais aparece assim como uma versão enxuta do sistema que suporta a linguagem”⁸⁷ (Ibidem, 2013, p. 222).

Nessa perspectiva, a combinação de gestos articulatórios da fala viabiliza a produção de um volume de ações com sentidos que destoa da simples combinação de gestos realizados com as mãos. Ou seja, por um lado os mecanismos motores da fala produzem sons que compõem uma mensagem que vai além dos gestos articulatórios da boca, enquanto a combinação de gestos icônicos com as mãos suscita um número limitado de sentidos. De modo geral, podemos inferir que os substratos neurobiológicos das esferas psicomotor, psicossensorial e intrapsíquico que participam do controle dos membros pela mente, da qual inclui a linguagem, apesar de terem suas próprias formas de organização e funcionamento operam em conjunto, quer dizer, o processamento de baixo e alto nível correspondem a dois lados de um mesmo sistema.

Para concluir esse subcapítulo cabe esclarecer que nosso intuito foi elucidar o motivo pelo qual o grupo de Parma sugeriu que os mecanismos funcionais dos NE se assemelham as disfunções neurocognitivas associadas a apraxia. Observamos que se trata de uma síndrome neuropsicológica que abrange o funcionamento do sistema motor, sensorial e cognitivo. A definição de apraxia atravessa dois vértices, o primeiro está ligado a níveis mais concretos de análise como a dificuldade motora em realizar certos movimentos e o segundo

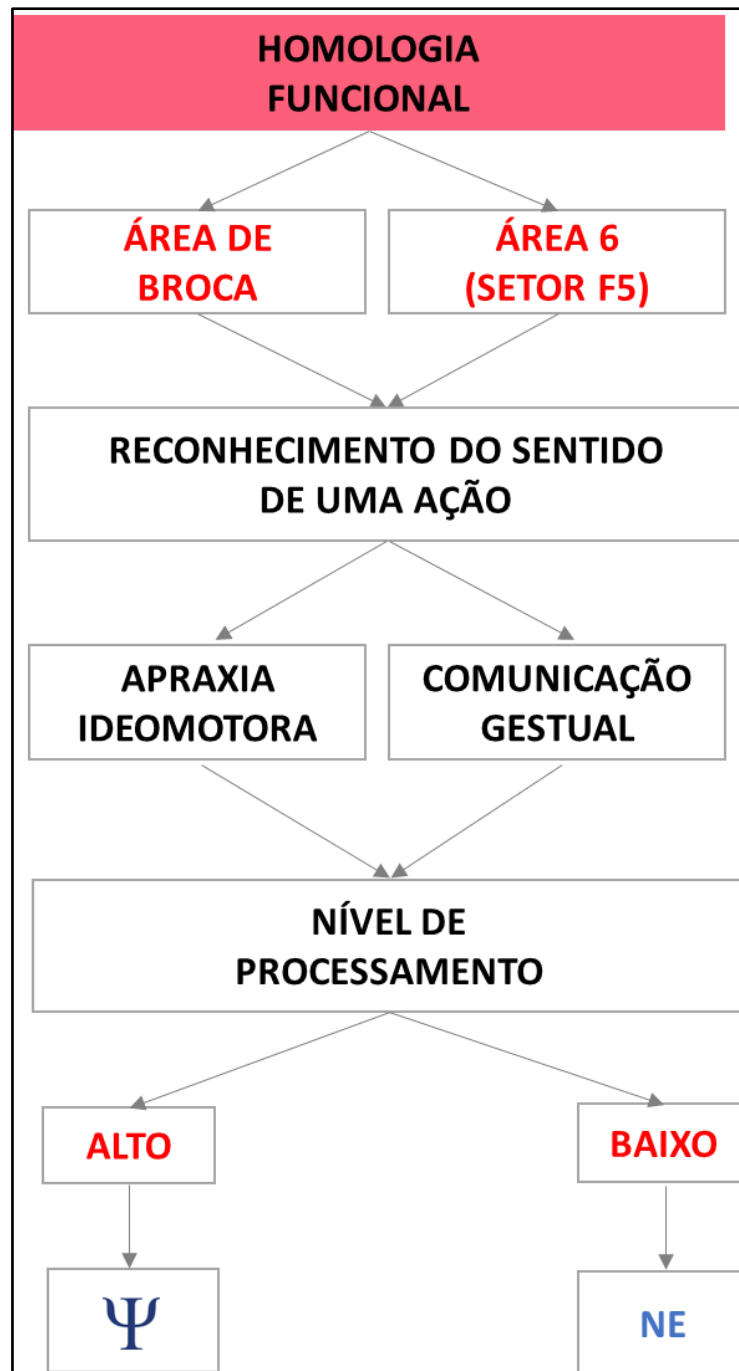
⁸⁶ Trecho original: “[...] their ability to create a wide diversity of novel entities from a limited repertoire of constant elements”.

⁸⁷ Trecho original: “The combinatorial richness of manual actions involved in apraxia is certainly more modest than that of language. The combinatorial system producing manual actions and gestures thus appears like a slimmed-down version of the system supporting language”.

remete ao viés psíquico que colabora com o reconhecimento do sentido de uma ação. Constatamos assim que a fronteira entre um e outro é sutil, pois ambos operam de forma quase indissociável mesmo que cada um tenha sua própria forma de organização e funcionamento. Aliás, os déficits neurocognitivos observados em pacientes apráxicos remetem a dicotomia mente e corpo que são representados por meio dos sistemas de alto e baixo nível. Além do mais, a correlação estrutural e funcional entre a apraxia e a linguagem infere uma semelhança que perpassa pelos mecanismos neurocognitivos encarregados pela fala ou por gestos icônicos. Se por um lado utilizamos a boca para emitir sons linguísticos ou as mãos para fazer movimentos emblemáticos, por outro recorreremos a cognição para dar sentido aos sons ou reconhecer a intenção da ação. Afinal, a capacidade de combinar gestos linguísticos por meio do ato de fala permite produzir um volume de informações que excede a mera combinação de gestos icônicos. Nessa perspectiva, o sistema de combinação manual aparece como uma versão rústica do sistema encarregado pela articulação da linguagem.

Em suma, podemos inferir em consonância com o posicionamento do grupo de Parma que o *modus operandi* do mecanismo de NE localizado no córtex pré-motor do macaco apresenta um certo grau de homologia (dis)funcional quando comparado ao déficit neurocognitivo da apraxia. A hipótese de que existe um sistema neurobiológico com propriedades de NE na área de Broca sugere que essa classe de neurônios codifica informações multimodais que medeiam tanto a produção dos gestos articulatórios da linguagem, quanto o reconhecimento do sentido dos mesmos. Por fim, elaboramos o seguinte esquema para ilustrar as hipóteses descritas e examinadas.

Figura 16 - Homologia funcional entre a área de Broca e a área 6 (setor F5), segundo a apraxia ideomotora.



Fonte: Produção do próprio autor. A homologia (dis)funcional constatada mediante a comparação entre uma lesão na área de Broca e na área 6 (setor F5), revelou um comprometimento do reconhecimento do sentido de uma ação. Esse déficit no córtex humano foi nomeado de apraxia ideomotora e está correlacionado com os mecanismos de comunicação gestual (mãos e boca), que são processados em dois níveis. O primeiro corresponde ao vértice sensório-motor responsável pelo controle e planejamento dos movimentos que perpassam pela organização estrutural e funcional dos NE. O segundo nível representa o vértice psíquico que processa o sentido de um gesto motor.

3.4 Teoria motora da percepção da fala.

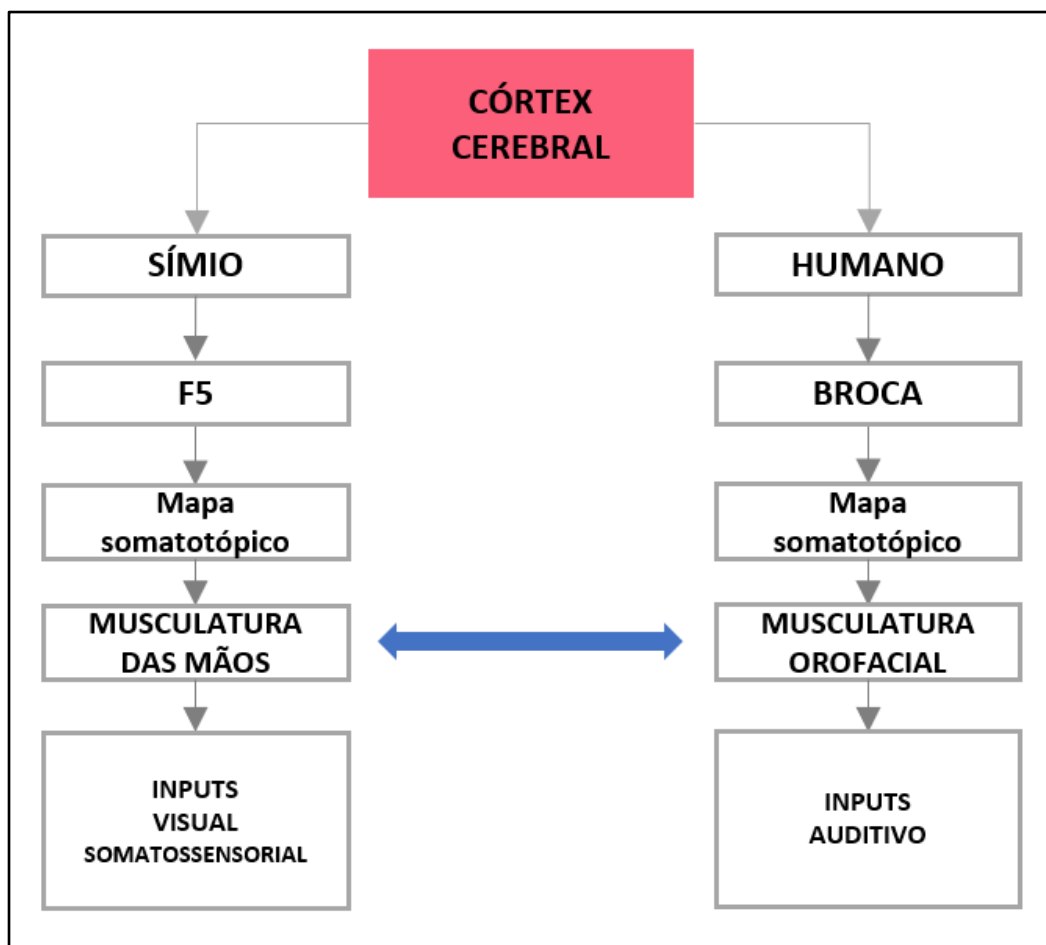
Antes de descrever e refletir sobre a teoria motora da percepção da fala elaborada por Liberman e colaboradores (1967), Liberman e Mattingly (1985), vale contextualizar como o grupo de Parma retomou essa teoria a partir da comparação anatomofuncional entre a área pré-motora do córtex de símios onde foram encontrados os NE e a região de Broca no córtex cerebral humano. Apesar de reconhecer um certo grau de homologia entre a área 6 (setor F5) e a área de Broca, os pesquisadores de Parma observaram duas diferenças:

“Primeiro, em F5 há uma grande representação da área da mão, enquanto a área de Broca é classicamente pensada como uma área relacionada ao controle da musculatura responsável pela produção da palavra falada. Em segundo lugar, F5 é uma área que recebe entradas visuais e somatossensoriais, enquanto a área de Broca está principalmente relacionada a entradas auditivas”⁸⁸ (Rizzolatti et al., 1996, p. 138).

O seguinte esquema ilustra as divergências:

⁸⁸ Trecho original: “First, in F5 there is a large hand area representation, while Broca's area is classically thought of as an area related to the control of musculature responsible for spoken word production. Second, F5 is an area receiving visual and somatosensory inputs, while Broca's area is mostly related to auditory input”.

Figura 17 - Esquema das diferenças entre o setor F5 e a área de Broca.



Fonte: Produção do próprio autor.

É claro que o córtex cerebral humano é mais complexo em sua organização estrutural e funcional do que o córtex cerebral de símios. No entanto, levando em consideração as diferenças entre ambas as áreas ilustradas no esquema, os pesquisadores de Parma sugeriram que o mapa somatotópico das mãos encontrado na área F5 também contém um mapa para o controle motor da boca e da face. Essa organização citoarquitetônica é semelhante a estrutura dos mapas neurais localizados na área de Broca que comportam tanto a representação somatotópica dos músculos orofaciais quanto das mãos (Rizzolatti et al., 1996).

Cabe lembrar que a organização somatotópica dos membros do corpo e suas representações no córtex cerebral não são mapas precisos. Além disso, dentro de uma determinada área pode haver mais de um mapa. O tamanho da representação somatotópica no córtex cerebral humano apresenta um volume

maior de detalhes devido o grau de refinamento do controle motor. Nas palavras de Rizzolatti e colaboradores (1996, p. 138):

“Embora certamente existam diferenças na organização somatotópica entre F5 e a área de Broca, essas diferenças são provavelmente mais em termos de extensão dos campos somatotópicos e representação detalhada de alguns movimentos, do que em termos de somatotopia grosseira”.⁸⁹

É curioso notar que os cientistas de Parma citam o trabalho de Bonda e colegas (1994), para justificar que a área de Broca permanece ativa durante a observação visual de movimentos realizados com as mãos. Portanto, deve existir uma estrutura funcional dentro dessa área especializada na codificação de informações provindas do campo visual.

Vale salientar que a região cortical do cérebro humano popularmente conhecido como área de Broca pode ser identificada com outras terminologias como áreas citoarquitetônicas 44 e 45, segundo a terminologia de Brodmann (1909), ou *pars opercularis* e *pars triangularis* respectivamente localizado no giro frontal inferior, anterior e posterior (Skipper et al., 2007). Aliás, é uma região cortical que apresenta uma organização estrutural e funcional heterogênea, ou seja, existem redes neurais especializadas na codificação de informações que perpassam pelo sistema motor, sensorial e cognitivo. Logo, a área de Broca não se restringe apenas a articulação da linguagem falada como tradicionalmente é reconhecida. Para exemplificar, vale citar alguns trabalhos que identificaram as seguintes operações funcionais nessa região: codificação fonológica, semântica, e controle motor da boca (Broca, 1863; Gough et al., 2005; Moss et al., 2005; Thompson-Schill et al., 1997; Wagner et al., 2001); percepção da fala (Pulvermüller e Fadiga, 2010); ativação neurobiológica mediante a execução, reconhecimento e imitação de ações realizadas com as mãos e a boca (Buccino et al., 2001; Buccino et al., 2004; Grèzes et al., 2003; Koski et al., 2002; Nishitani et al., 2005; Rizzolatti e Arbib, 1998; Sundara et al., 2001). Por fim, cabe acrescentar que a área de Broca em neonatos humanos nasce com populações

⁸⁹ Trecho original: “Although differences in somatotopic organization between F5 and Broca’s area certainly exist, these differences are probably more in terms of the extension of the somatotopic fields and detailed representation of some movements, than in terms of gross somatotopy”.

neurais especializadas na imitação dos movimentos da boca, assim como a capacidade de imitar expressões faciais realizadas por outro indivíduo (Meltzoff e Moore, 1977; Field et al., 1982). Ao reconhecer que a mesma área no córtex pré-motor de símios recém-nascidos também nasce com redes neurais especializadas nos mesmos processos, Ferrari e colaboradores (2006), além de Bonini e Ferrari (2011), sugeriram que o fenômeno do reconhecimento e imitação orofacial em humanos e símios pode estar relacionado a ontogênese dos NE.

Tendo em vista um certo grau de semelhança estrutural e funcional o grupo de Parma levantou a seguinte questão, “Existe algo em comum entre as funções de “espelho” presentes tanto na área F5 quanto na área de Broca e as funções da fala em Broca?”⁹⁰ (Rizzolatti et al., 1996a, p. 138, aspas do autor). Em outras palavras, existe uma semelhança funcional entre os NE do córtex cerebral de símios e do córtex humano que remete a codificação de informações sensorio motora que subjazem a linguagem falada? A indagação levou Rizzolatti e Arbib (1988) a elaborar a “Hipótese do Sistema Espelho”⁹¹ que admite que a comunicação oral humana evoluiu a partir da comunicação gestual entre primatas não humanos. Refletindo sobre a hipótese a partir do desenvolvimento da organização estrutural e funcional dos NE, compreendemos que essa classe de células neurais passou a mediar códigos acústicos da fala que possuem sua contraparte motora. Tal pressuposto foi salientado pelo trabalho de Kohler e colaboradores (2002), que constataram que neurônios na área 6, (setor F5), dispararam potenciais de ação mediante as características acústicas de uma determinada ação. Por exemplo, os NE disparavam quando o símio ouvia o som de uma casca de amendoim sendo quebrada ou de uma folha de papel sendo rasgada. Assim como disparavam quando o animal realizava as mesmas ações. Esses neurônios reconhecidos como NE audiovisual, classificados como multimodais, possuem a característica funcional de codificar informações que medeiam o reconhecimento de uma ação a partir do som (Kohler e al., 2002). Vale acrescentar que um ano após a descoberta, Ferrari e colaboradores (2003), indicaram a existência de NE correlacionados a ações realizadas com a boca. Os NE ingestivo são recrutados mediante ações como morder, chupar, lamber

⁹⁰ Trecho original: “Is there something in common between the 'mirror' functions present in both F5 and Broca's area and Broca's speech functions?”.

⁹¹ Trecho original: “The Mirror System Hypothesis”.

ou mastigar. Além desses, foi reconhecido os NE comunicativo que disparam mediante movimentos da boca como abrir, fechar, mover os lábios e a língua para fora ou para dentro.

Recapitulando as duas características funcionais dos NE e acrescentando sua codificação auditiva, observamos que essas células neurais combinam o sinal de entrada sensorial mediado pelo sistema visual ou auditivo em sua contraparte motora. Isto é, os NE codificam gestos articulatórios das mãos ou da boca em conjunto com as informações captadas pela visão ou audição. A segunda propriedade funcional dos NE corresponde a codificação das possibilidades de interação entre as características de um gesto, um objeto e um som. Em outras palavras, a codificação de informações multimodais mediadas pelo funcionamento dos NE intervém no reconhecimento de uma ação a partir das características visuais ou acústicas de um determinado movimento realizado com as mãos ou com a boca. Logo, o reconhecimento do sentido da ação é recuperado no repertório de esquemas sensório motor codificados pelos NE no córtex cerebral tanto do emissor quanto do receptor.

Considerando tais conjecturas vale salientar que segundo Rizzolatti e Arbib (1988), os NE são parte de um pré-requisito anatomofuncional que medeia o funcionamento da linguagem falada. O refinamento funcional dos NE no córtex cerebral do símio para o córtex cerebral humano teria ocorrido de modo gradual através de processos filogenéticos (Gallese e Goldman 1988; Rizzolatti e Arbib 1988; Gentilucci e Corballis 2006), que levam em consideração o reuso neural ou exaptação, isto é, quando determinadas redes neurais desenvolvidas para um propósito (comunicação gestual), passam a ser usados para outra finalidade (comunicação sonora) (Anderson 2010; Gould e Vrba 1982; Pievani e Serrelli 2011). Além disso, tal especialização funcional requer um certo grau de plasticidade neural que abrange os processos de maturação do encéfalo e sua regulação epigenética (Ferrari et al., 2003). Nessa perspectiva, em consonância com o pensamento de Bonini e Ferrari (2011), entendemos que o grau de homologia entre a área 6 (setor F5), e a área de Broca, decorreram de estruturas cerebrais primitivas que passaram por transformações genéticas, anatômicas, e especializações funcionais que estão em correlação com o ambiente e as necessidades internas do organismo como um todo. Afinal, segundo Arbib

(2005), a comunicação primitiva entre macacos deu lugar a comunicação gestual que foi gradativamente convencionalizada através da imitação que motivou o surgimento de protossignos manuais, que aos poucos foram associados à determinados sons que possibilitaram a emergência da protofala, que por fim, originou a moderna linguagem humana. A propósito, como o mecanismo neurobiológico dos NE pode estar correlacionado com o processamento funcional da linguagem articulada acusticamente? Para Rizzolatti e colaboradores (1996), a resposta advém da teoria da evolução da produção da fala desenvolvida pelo linguista norte americano MacNeilage (1998):

“[...] a fala teve sua origem não nos chamados vocais dos primatas, mas no uso dos gestos comunicativos pelos primatas. A modalidade comunicativa para esses gestos foi inicialmente visual. Só mais tarde na evolução os gestos comunicativos passaram a ser associados aos sons. Esse passo fundamental levou a um enorme enriquecimento das possibilidades comunicativas dos primatas que, em última análise, culminou no aparecimento da fala, e, então, a capacidade de emitir e compreender “gestos verbais”⁹² (Rizzolatti et al., 1996, p. 139, aspas do autor).

A hipótese de que a linguagem oral teria originado a partir da comunicação gestual motivou o grupo de Parma a recorrer a teoria motora da percepção da fala elaborada por Liberman e Mattingly, (1985), que assume que “[...] os objetos da percepção da fala não se encontram nos sons, mas no gesto fonético do falante representado no cérebro como comandos motores invariáveis”⁹³ (Gallese et al., 1996, p. 607). Em termos gerais, o sistema de produção dos sons da linguagem decorre de um mecanismo de coordenadas neuromotoras especializado na codificação dos gestos articulatórios da fala. Os autores sugerem que células neurais com propriedades semelhantes aos NE estão presentes na área de Broca e compõem as bases neurofisiológicas da percepção

⁹² Trecho original: “[...] Speech had its origin not in primate vocal calls, but in the primate use of communicative gestures. The communicative modality for these gestures was initially visual. Only later in evolution the communicative gestures became associated with sounds. This fundamental step led to an enormous enrichment of primate communicative possibilities which, ultimately, culminated in the appearance of speech”.

⁹³ Trecho original: “[...] the objects of speech perception are not to be found in the sounds, but in the phonetic gesture of the speaker, represented in the brain as invariant motor commands”.

da fala. Antes de discorrer sobre essa hipótese, vale contextualizar as primeiras pesquisas sobre os sons da linguagem humana.

O estudo dos sons da fala remonta aos trabalhos realizados nos séculos III e IV a.C., pelos gramaticistas do Sânscrito e do Grego (Lieberman, 1988). Segundo Joaquim Mattoso Câmara Jr.⁹⁴, em sua obra “A história da linguística” (1986), o âmago da ciência da linguagem ou linguística remonta ao “estudo do certo e errado” que examinava a diferença entre os sons do sânscrito e sua composição vocabular. No século XIX, o filólogo alemão Eduard Sievers⁹⁵, publicou sua obra intitulada “Fundamentos da Fisiologia Vocal” (1876), que foi um marco no advento da fonética como disciplina. A obra motivou a separação do campo da fonética da fisiologia e a aproximou do domínio da linguística. Aliás: “[...] tal abordagem exigia do investigador um conhecimento básico de física, [que] foi evitado pelos linguistas que não se achavam preparados para a tarefa do físico” (Camara Jr, 1986, p. 156).

Nesse sentido, os linguistas se dividiram em dois grupos de pesquisa dentro do campo da fonética. Por um lado, estava os pesquisadores interessados em conhecer a articulação da fala a partir da abordagem acústica sobre as vogais desenvolvida no século XIX, pelo médico, matemático e físico alemão Hermann von Helmholtz⁹⁶. Tal perspectiva floresceu no século XX, com a fonética experimental da Escola Francesa de Fonética, coordenada pelo foneticista e dialectologista francês Jean-Pierre Rousselot⁹⁷, que empregou o quimógrafo para registrar os movimentos dos órgãos da fala, além do instrumento conhecido como palato artificial (Camara Jr. 1986). Atualmente, os experimentos fonéticos dispõem de tecnologias como o espectrógrafo, a fotografia de alta velocidade, a cineradiografia, a eletromiografia, experimentos psicoacústicos e sistemas computadorizados que viabilizam sintetizar as ondas acústicas da fala. Apesar do avanço das pesquisas no campo da fonética experimental os foneticistas observaram que a percepção e produção de alguns sons da fala (códigos fonéticos) “[...] eram irrelevantes para a comunicação linguística e não desempenhavam, portanto, qualquer papel no nível da língua

⁹⁴ Joaquim Mattoso Câmara Júnior nascido em 1904, falecido em 1970.

⁹⁵ Eduard Sievers nascido em 1850, falecido em 1932.

⁹⁶ Hermann von Helmholtz, nascido em 1821, falecido em 1894.

⁹⁷ Jean-Pierre Rousselot, nascido em 1846, falecido em 1924.

propriamente dita” (Camara Jr, 1986, p. 161). Descrevendo de outra forma, existem sons que são realmente emitidos pela boca (fonética), e outros que “[...] os falantes acreditavam faze-los e os ouvintes julgam ouvir” (fonologia) (Ibidem, 1986, p. 162). Ou seja, por um lado o som pode ser percebido e por outro imaginado. Aliás, apesar dos termos fonética e fonologia possuírem a mesma raiz grega, *phon*, que corresponde a som ou voz (Callou e Leite, 1990), a fonética é reconhecida como a ciência dos sons da fala física, enquanto a fonologia segundo o linguista polonês Jan Niecislaw Ignacy Baudouin de Courtenay⁹⁸, está relacionada aos sons da fala no nível psíquico. Baudouin de Courtenay foi um dos pioneiros nos estudos da fonologia e buscou descrever de modo sistemático:

“[...] o estudo dos elementos que tem um papel na significação (os fonemas) – estudo esse que denominou psicofonética – daqueles que são o resultado das realizações individuais dos falantes (os fones ou sons da fala). A esse estudo deu o nome de fisiofonética” (Ibidem, 1990, p. 12).

É curioso pensar que a distinção entre fonética e fonologia remete de certo modo a dicotomia mente e corpo. Por um lado, a fonética pesquisa a interface física do som, isso é, as ondas mecânicas que são emitidas pelo aparelho fonador, “[...] do qual fazem parte os pulmões, a laringe, a faringe, as cavidades oral e nasal” (Callou e Leite, 1990, p.14). Enquanto a fonologia corresponde a interface simbólica ou cognitiva, da qual o som incorpora um significado. Em suma, as pesquisas que objetivam conhecer a organização estrutural e funcional pela qual a fala humana é produzida recorrem ao exame empírico das propriedades fisiológicas do trato vocal que também requer o entendimento dos mecanismos neurobiológicos que medeiam a articulação da fala. Nessa perspectiva, vamos descrever a teoria motora da percepção da fala para entender o motivo pelo qual o grupo de Parma correlacionou com o papel funcional dos NE.

A teoria motora da percepção da fala foi desenvolvida na década de 1950 nos laboratórios Haskins localizado no estado de Connecticut nos Estados Unidos. O trabalho inaugural foi apresentado por Liberman e colaboradores (1967), e foi desenvolvido na publicação de Liberman e Mattingly (1985). De

⁹⁸ Jan Niecislaw Ignacy de Courtenay, nascido em 1845, falecido em 1929.

modo geral, a teoria objetivou explicar a relação entre a forma como a fala é percebida e também produzida. Nas palavras de Liberman, a questão norteadora da pesquisa foi “O que há de especial na fala que funciona excepcionalmente bem?”⁹⁹ (Mattingly e Liberman, 1991, p. 443). O objeto de estudo dos pesquisadores foram os fonemas que são compostos por subfonemas, ou seja, a menor unidade sonora de uma língua que ao serem articulados em conjunto formam sílabas, palavras e sentenças. Os cientistas teorizaram que a codificação de um sinal acústico emitido por meio da fala requer o funcionamento de redes neurais especializadas na mediação da percepção e produção de cada elemento fonêmico, como: /a/, /c/, /f/, /i/, /b/, ou qualquer outro que compõe os fonemas de uma língua.

Liberman e colegas (1967), mencionam que a comunicação visual de fonemas pela escrita e a auditiva pela fala são em partes diferentes, pois a visão tem a capacidade de separar os códigos visuais, enquanto a codificação da mensagem fonêmica se estrutura no fluxo sonoro do qual não há limites perceptíveis como na comunicação escrita. Descrevendo de outro modo, a cadeia de eventos acústicos, ou melhor, a corrente de sons emitidos pelo ato de falar é percebida como sendo mais articulatória devido a sobreposição de gestos sonoros. Ou seja, por trás dos sons da fala está a dinâmica da articulação motora do aparelho fonador que é controlado por mecanismos neuromotores. Segundo Liberman e colaboradores (1967, p. 441):

“[...] os gestos articulatórios correspondentes a fonemas sucessivos — ou, mais precisamente, seus traços subfonêmicos — são sobrepostos, ou agrupados, uns sobre os outros. Essa entrega paralela de informações produz no nível acústico a fusão de influências a que já nos referimos e produz segmentos acústicos irreduzíveis de dimensões aproximadamente silábicas. Assim, a segmentação também exibe uma relação complexa entre a estrutura ou percepção linguística por um lado e o fluxo sonoro por outro”¹⁰⁰.

⁹⁹ Trecho original: “What is special about speech that it Works uniquely well?”

¹⁰⁰ Trecho original: “[...] the articulatory gestures corresponding to successive phonemes—or, more precisely, their subphonemic features—are overlapped, or shingled, one onto another. This parallel delivery of information produces at the acoustic level the merging of influences we have already referred to and yields irreducible acoustic segments of approximately syllabic dimensions. Thus, segmentation also exhibits a complex relation between linguistic structure or perception, on the one hand, and the sound stream on the other”.

Vale acrescentar que:

“O gesto total na articulação de /b/, por exemplo, pode ser decomposto em vários elementos distintivos: (a) fechamento e abertura do trato vocal superior de modo a produzir o traço de modo característico da oclusiva consoantes; (b) fechamento e abertura do trato vocal especificamente nos lábios, produzindo assim o traço de lugar denominado bilabialidade; (c) fechando o véu para fornecer o recurso de oralidade; e (d) iniciar a vibração das pregas vocais simultaneamente com a abertura dos lábios, adequada ao recurso de vozeamento. O fonema /p/ presumivelmente compartilha com /b/ os traços 1, 2 e 3, mas difere quanto ao traço 4, em que a vibração das pregas vocais começa cerca de 50 ou 60 milissegundos após a abertura dos lábios; /m/ tem traços 1, 2 e 4 em comum com /b/, mas difere no traço 3, pois o véu fica aberto para produzir o traço de nasalidade; /d/ tem traços 1, 3 e 4 em comum com /b/, mas tem um ponto de articulação diferente; e assim por diante”¹⁰¹ (Lieberman et al., 1967, p. 446).

Se os fonemas são codificados silabicamente no fluxo sonoro que resulta de um sistema de coordenadas motoras então deve haver no sistema perceptivo um decodificador apropriado. Segundo Liberman e colegas (1967, p. 444), esse sistema está relacionado ao processamento dos códigos fonéticos que “[...] são mais facilmente decodificados no hemisfério esquerdo do que no direito. Isso sugere a existência de um mecanismo especial no hemisfério esquerdo”¹⁰². Além disso, os autores sugerem que o dispositivo da percepção da fala deve ser especializado, pois “[...] perceber a fala é muito mais fácil que ler”¹⁰³ (ibidem, 1967, pp. 445). Além do mais, os pesquisadores questionaram por que os sons da fala são tão bem percebidos mesmo em um ambiente com outros sinais

¹⁰¹ Trecho original; “The total gesture in the articulation of /b/, for example, can be broken down into several distinctive elements: (a) closing and opening of the upper vocal tract so as to produce the feature characteristically of the consonant stop; (b) closing and opening of the vocal tract specifically in the lips, thus producing the place feature called bilabiality; (c) closing the veil to provide the orality facility; and (d) start the vibration of the vocal folds simultaneously with the opening of the lips, adequate to the voicing resource. The phoneme /p/ presumably shares features 1, 2, and 3 with /b/, but differs in feature 4, where vocal fold vibration begins about 50 or 60 milliseconds after lip opening; /m/ has features 1, 2 and 4 in common with /b/, but differs in feature 3, as the veil is left open to produce the nasality feature; /d/ has features 1, 3, and 4 in common with /b/, but has a different point of articulation; and so on”.

¹⁰² Trecho original: “[...] are more readily decoded in the left hemisphere than in the right. This suggests the existence of a special left-hemisphere mechanism”.

¹⁰³ Trecho original: “[...] perceiving speech is far easier than Reading”.

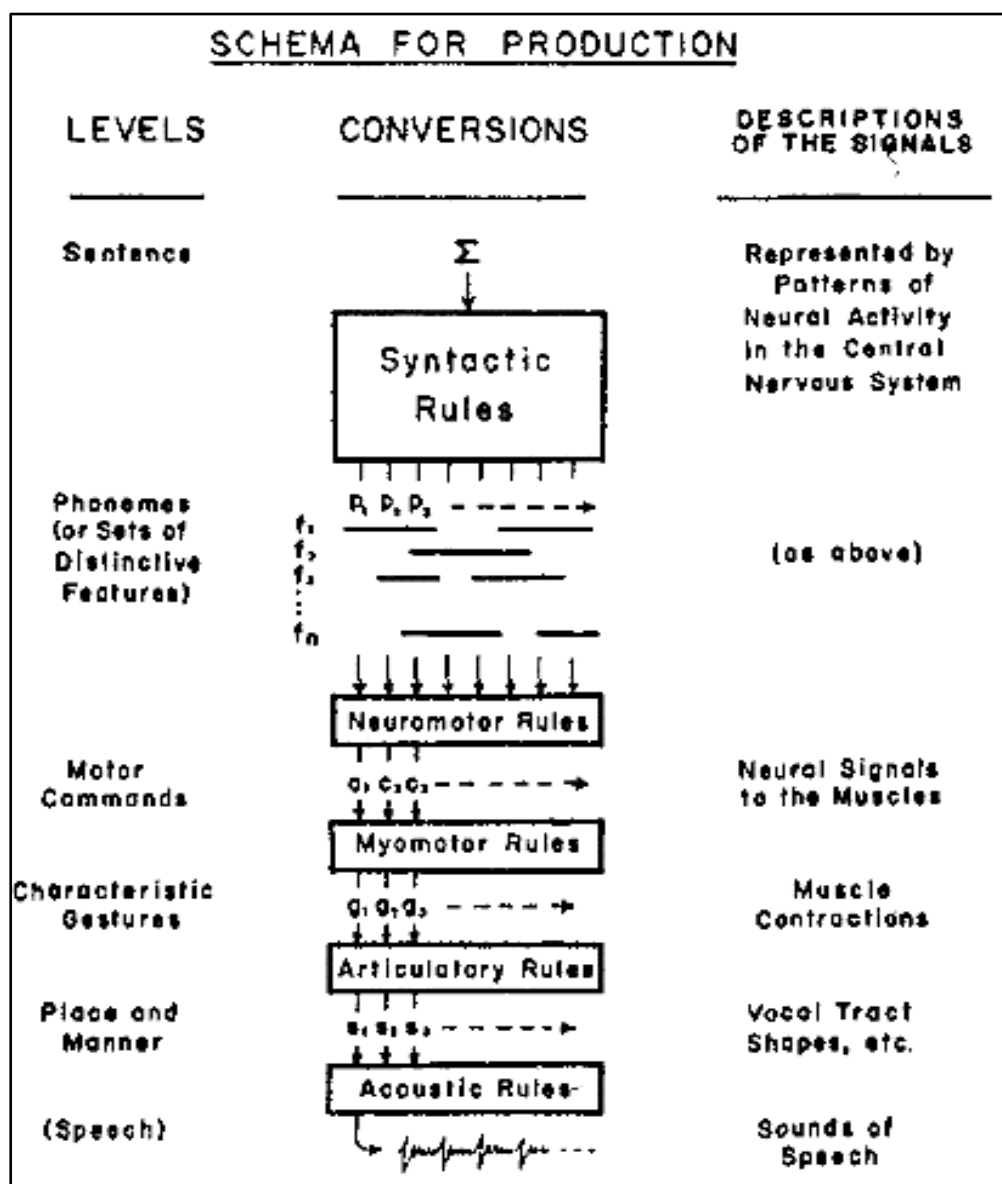
acústicos? (Ibidem, 1967). Tais questões levou o grupo dos laboratórios de Haskins a postularem duas hipóteses funcionais para embasar a teoria da percepção e produção motora da fala. Primeiro, o cérebro humano deve conter um conjunto de instruções motoras ou no termo de Liberman e colegas (1967), “comandos motores” especializados na percepção e produção dos sons da fala. Nessa perspectiva, compreendemos que existem padrões de disparos de potencial de ação que são emitidos por redes neurais especializadas na mediação de informações que subjazem os comandos motores da fala. Descrevendo com outros termos, o hemisfério esquerdo do cérebro humano possui redes neurais especializadas na codificação de informações que subjazem a produção e percepção motora dos códigos acústicos da fala. A propósito, ao empregar o termo “códigos da fala”, os autores aludem a um conjunto mínimo de componentes acústicos que compõem os sons da fala.

É oportuno mencionar que o produto sonoro da fala, quer dizer, a massa de ar emitida pela articulação motora dos órgãos da fala tende a ser semelhante. Ou seja, os gestos articulatórios da fala são parecidos, pois produzem sons que em certa medida independem da influência do ambiente sobre o falante. Em outras palavras, o córtex cerebral esquerdo do falante possui circuitos neurais especializados no controle da percepção e produção de comandos motores que tendem a repetir um padrão de funcionamento. Por exemplo, toda vez que um falante pronunciar o fonema /c/, redes neurais localizadas no córtex motor esquerdo emitem um padrão de disparo de potenciais de ação que controla a articulação do aparelho fonador. O padrão de disparo acaba se repetindo toda vez que o mesmo fonema é produzido/percebido. Segundo Liepmann e colaboradores (1967), a produção e percepção motora da fala é mediada por um mesmo mecanismo neurobiológico. Nesse sentido, podemos inferir que tanto a articulação quanto a impressão sensorial da fala perpassam por um mesmo substrato neurobiológico especializado em codificar informações acústicas emitidas ou recebidas por um falante/ouvinte.

Recapitulando as ideias anteriores podemos assumir que quando um conjunto de fonemas é articulado para produzir uma palavra ou uma sentença, os correlatos neuromotores dos gestos da fala disparam sinais para os músculos responsáveis pela produção dos códigos da fala que de certo modo são

invariáveis. Ou seja, tanto a produção quanto a percepção de subfonemas, fonemas, sílabas, palavras ou sentenças são controlados por regras instanciadas no nível neurobiológico. Nessa concepção, vale lembrar que quando falamos uma palavra mal articulada, ou seja, que não saiu como de costume, assim que percebemos pela própria escuta conseguimos corrigir a pronúncia. Afinal, os mecanismos neurobiológicos da percepção e produção da fala são mediados por regras de processamento estrutural e funcional em diversos níveis. Para ilustrar essa hipótese reproduzimos o seguinte esquema:

Figura 18 - Esquema dos estágios da produção da fala.



Fonte: Liberman e colaboradores (1967, p. 445).

O esquema dos estágios da produção da fala está dividido em três colunas verticais. A primeira intitulada "Levels", representa o nível de organização da produção da linguagem oral, a segunda "Conversions" corresponde as conversões necessárias para produzir a fala. Por fim, a coluna "Descriptions of the signals", designa o tipo de sinal recrutado para a produção da fala. Examinando as três colunas verticais no nível horizontal de cima para baixo e da esquerda para a direita, observamos as seguintes correlações. Em Levels, encontramos o nível das sentenças (conjunto de sons articulados em sequência), que se correlaciona com o nível da conversão; o símbolo somatório,

Σ , infere a soma de todas as variáveis de sons que são organizados em regras sintáticas elencadas por p1, p2, p3. As sentenças, o Σ , e as regras sintáticas são codificadas mediante a atividade do SNC.

Prosseguindo com a análise, temos que as sentenças são representadas no nível dos fonemas, cujos símbolos f1, f2, f3, correspondem ao conjunto de características distintivas entre os fonemas. Por exemplo, /p/, /b/, /c/, /k/. Tais distinções são convertidas em segmentos fonéticos representados por linhas horizontais de diferentes tamanhos e posições que representam a disposição dos órgãos da fala, como a posição da língua ou os movimentos de abertura e fechamento da boca necessários para modelar um volume de massa sonora que corresponde aos correlatos neurais do córtex motor. Abaixo do nível dos fonemas estão os comandos motores que correspondem a conversão das regras neuromotores, c1, c2, c3, que recebem e enviam sinais neurais aos músculos recrutados para a produção da fala. No nível das características gestuais que correspondem a conversão das regras “myomotor”, também estruturada de forma sequencial, g1, g2, g3, denota que a contração muscular deve estar em consonância com o sinal recebido pelo nível anterior. Por fim, o nível “Place and Manner”, lugar e maneira, corresponde aos traços subfonêmicos que ocorrem em paralelo a formação do fonema mediante as regras de articulação, s1, s2, s3, que serão dispostos mediante a forma do trato vocal que acompanha as instruções gesticulatórias anteriormente recebidas que são combinadas com o movimento atual. Finalmente, o nível da fala ao ser convertido por regras acústicas possibilitam a articulação sonora da palavra.

Vale salientar que o esquema da produção da fala segue uma estruturação hierárquica, sequencial e paralela que segundo os autores abrange a natureza dos sinais neurais em uma “[...] sequencia multidimensional de instruções de controle”¹⁰⁴ que viabilizam a percepção e a produção eficiente dos fonemas (Liepman e al., 1967, p. 447).

“[...] as representações acústicas dos fonemas sucessivos são entrelaçadas. Algum centro de controle deve, portanto, "saber" qual deve ser a sílaba para que os componentes de suas características

¹⁰⁴ Trecho original: “multidimensional string of control instructions”.

subfonêmicas possam ser combinadas e sobrepostos apropriadamente”¹⁰⁵ (Ibidem, 1967, p. 449, aspas do autor).

Nesse sentido, compreendemos que o centro de controle operara de acordo com regras neurobiológicas instanciadas em diferentes níveis de conversão. Ou seja, o sistema motor e sensorial apresenta limites estruturais e funcionais que refletem por exemplo a incapacidade de pronunciar duas palavras ao mesmo tempo, pois os órgãos fonadores não comportam tal articulação. Aliás, assim como a organização estrutural e funcional do sistema motor e sensorial possuem restrições neurobiológicas, vale lembrar que o sistema cognitivo também apresenta certos limites de processamento. Basta lembrar da impossibilidade de elaborar dois pensamentos ao mesmo tempo. Ou seja, refletir sobre dois ou mais pensamentos simultaneamente. Em suma, podemos inferir que existem princípios de organização estrutural e funcional que delineiam a forma como a linguagem é produzida e percebida segundo as capacidades naturais dos órgãos da linguagem do qual inclui o encéfalo e suas partes. Aliás, apesar de parecer evidente à primeira vista vale citar que os autores reconhecem que um fonema não corresponde a gesticulação de um único músculo ou grupo muscular:

“A suposição é que em algum nível ou níveis do processo de produção existem sinais em correspondência biunívoca com os vários segmentos da linguagem – fonema, palavra, frase, etc. A percepção consiste em, de alguma forma, retroceder o processo, encontrando-se os sinais neurais correspondentes aos vários segmentos em seus respectivos níveis. Na percepção do fonema – nossa principal preocupação neste artigo – o invariante é encontrado bem abaixo no sistema neuromotor, no nível dos comandos para os músculos”¹⁰⁶ (Liepman e al., 1967, p. 454).

¹⁰⁵ Trecho original: “[...] the acoustic representations of the successive phonemes are interlaced. Some control center must therefore "know" what the syllable is to be in order that its component subphonemic features may be appropriately combined and overlapped”.

¹⁰⁶ Trecho original: “The assumption is that at some level or levels of the production process there exist neural signals stand-ing in one-to-one correspondence with the various segments of the language — phoneme, word, phrase, etc. Perception consists in somehow running the process backward, the neural signals corresponding to the various segments being found at their respective levels. In phoneme perception—our primary concern in this paper—the invariant is found far down in the neuromotor system, at the level of the commands to the muscles”.

Liepman e colaboradores (1967, p. 449), salientam que “Devemos [...] enfatizar que nos referimos aqui ao fonema como percebido, não como uma entidade linguística abstrata servindo principalmente a uma função classificatória”¹⁰⁷. Formulando em outras palavras, a entidade acústica percebida é processada por correlatos neuromotores que viabilizam os gestos articulatórios da fala. Ou seja, os pesquisadores apoiam o exame da fonética no vértice material da linguagem, do qual destacam que existem representações neurais das possíveis manobras articulatórias que viabilizam perceber e produzir os códigos da fala. A propósito, no trabalho de Lieberman e Blumstein (1988, p. 147), ao recapitular a formulação inicial da teoria motora da percepção da fala proposta por Liberman e Mattingly (1985), os autores destacam que:

“O ouvinte percebia a fala comparando o sinal de entrada com um sinal gerado internamente. O ouvinte hipoteticamente gerou o sinal interno por meio dos mesmos mecanismos neurais que ele usou para controlar seu trato vocal na geração da fala”¹⁰⁸.

Comparando esse trecho com a inferência de Liberman e colegas (1967), sobre a materialidade do fonema é possível constatar a sutil distinção entre o nível físico e o simbólico da linguagem. Aliás, os autores sugerem a existência de níveis de processamentos do qual:

“A percepção por regras morfofonêmicas, morfêmicas e sintáticas da língua envolveria os processos de codificação em níveis superiores. O nível em que o processo de codificação é inserido para fins de decodificação perceptual pode, além disso, determinar quais formas podem e não podem ser detectadas na percepção bruta”¹⁰⁹ (Liepman et al., 1967, p. 454).

É curioso notar nas três referências supracitadas que as expressões “sinal gerado internamente”, “entidade linguística abstrata”, “níveis superiores” e “percepção bruta”, estimulam reflexões de fronteira. Por exemplo, um sinal

¹⁰⁷ Trecho original: “We must [...] emphasize that we refer here to the phoneme as perceived, not as an abstract linguistic entity primarily serving a classificatory function”.

¹⁰⁸ Trecho original: “The listener perceived speech by matching the incoming signal against an internally generated signal. The listener hypothetically generated the internal signal by means of the same neural mechanisms that he used to control his vocal tract in the generation of speech”.

¹⁰⁹ Trecho original: “Perception by morphophonemic, morphemic, and syntactic rules of the language would engage the encoding processes at higher levels. The level at which the encoding process is entered for the purposes of perceptual decoding may, furthermore, determine which shapes can and cannot be detected in raw perception”.

gerado internamente significa que sua origem decorre unicamente de processos neurais especializados ou que o mesmo é produzido por meio da cognição? Elaborando a mesma pergunta de outra forma: a percepção interna de um estímulo oriundo do meio externo (o som de uma palavra), é primeiro percebido para em seguida ser reconhecido? Quer dizer, o som passa por um tratamento cognitivo do qual incorpora um sentido simbólico? Tais indagações ressaltam a possibilidade de que existem níveis estruturais e funcionais de processamento da linguagem. A propósito, discriminar o funcionamento motor, sensorial e cognitivo em níveis operacionais parece viável tanto didaticamente quanto com base no que se sabe sobre a arquitetura organizacional e funcional do encéfalo e suas partes. Entretanto, é preciso mencionar que as técnicas e tecnologias disponíveis para as pesquisas em neurociência da linguagem ainda possuem restrições funcionais que refletem no desenvolvimento de hipóteses teóricas. Afinal, reformulando a essência das proposições anteriores podemos indagar da seguinte maneira: seria possível distinguir quando um som está sem um significado (som puro), e quando o mesmo incorpora um sentido? Se é que existe uma clivagem entre um e outro. Compreendemos que se trata de uma pergunta delicada pois infere ao mesmo tempo um ponto de contato e separação entre o sistema sensorio motor e a interface cognitiva, ou entre os vértices objetivo e subjetivo, físico e abstrato que remete a dicotomia mente e corpo. Respondendo à questão com base nos termos utilizados pelos autores podemos inferir que uma entidade linguística abstrata requer no mínimo uma certa participação de mecanismos inferiores que perpassam pela percepção bruta. Nesse caso, podemos concluir que são sistemas codependentes.

Dando continuidade ao exame da teoria proposta por Liepman e colegas (1967), é importante mencionar que segundo os autores a eficiência da percepção da fala da qual inclui sua produção, condiz com a segunda característica que embasa a teoria da percepção motora da fala, isto é, existe um mecanismo neural especializado na codificação dos gestos fonéticos. Tal arquitetura funcional corresponde ao conceito de modularidade proposto pelo filósofo e cientista cognitivo estadunidense Jerry Fodor¹¹⁰ em sua obra “A

¹¹⁰ Jerry Fodor, nascido em 1935, falecido em 2017.

modularidade da Mente: um ensaio sobre a faculdade psicológica”¹¹¹ (1983), do qual Liberman e Mattingly (1985), examinaram como o módulo fonético se assemelha ao conceito desenvolvido por Fodor. Portanto, é pertinente descrever em termos gerais as hipóteses ensaiadas por Fodor sobre a arquitetura modular da cognição.

¹¹¹ Título original: “The Modularity of Mind. An essay on faculty Psychology”.

3.5 Teoria modular da mente aplicada a fonética

O intuito deste subcapítulo é descrever de modo geral a tese modular da mente escrita em forma de ensaio por Fodor (1983), e refleti-la com base na segunda característica que embasa a teoria da percepção motora da fala, ou seja, a possível existência de um módulo fonético no córtex cerebral humano. Vale mencionar que o termo mente aparece na obra de Fodor como sinônimo de cognição ou psique. Aliás, suas reflexões sobre a estruturação da mente humana são enriquecidas com uma taxonomia que remete a diferentes áreas do conhecimento. Segundo Fodor (1983, p. 37):

“A grosso modo, os sistemas cognitivos modulares são específicos de domínio, especificados inatamente, conectados, autônomos e não acumulativos. Como os sistemas modulares são mecanismos computacionais de domínio específico, segue-se que eles são espécies de faculdades verticais”.¹¹²

O autor sugere que um modelo computacional dos processos cognitivos corresponde a [...] concatenação de coleções surpreendentemente pequenas de operações básicas”¹¹³ (Ibidem 1983, p. 29). Em outras palavras, existe um conjunto de componentes elementares que subjazem a representação virtual dos processos cognitivos, ou melhor dizendo, “[...] você estabelece a arquitetura virtual de uma máquina especificando quais conjuntos de instruções podem constituir seus programas”¹¹⁴ (Ibidem, 1983, p. 32). Nesse sentido, podemos deduzir que as regras básicas aludem a natureza dos módulos, isto é, a forma como estão organizados estruturalmente e funcionalmente. Descrevendo em outros termos, existem células neurais estruturadas em redes funcionalmente semelhantes que codificam informações que correspondem as partes mínimas de um determinado sistema (sensorial, motor ou cognitivo). Para Fodor, a estrutura virtual da mente ou cognição perpassa pelo conjunto de códigos processados por diferentes populações neurais distribuídas em múltiplas áreas

¹¹² Trecho original: ““Roughly speaking, modular cognitive systems are domain-specific, innately specified, connected, autonomous, and non-accumulating. Since modular systems are domain-specific computational mechanisms, it follows that they are a kind of vertical faculties”.

¹¹³ Trecho original: “[...] concatenations of surprisingly small collections of basic operations”.

¹¹⁴ Trecho original: “[...] you establish the virtual architecture of a machine by specifying which sets of instructions can constitute its programs”.

do encéfalo dos quais incluem os circuitos funcionais de *input* e *output* de um sistema cognitivo. Na terminologia do autor, os circuitos neurais especializados por determinação genética, isto é, sistemas neurobiológicos circunscritos endogenamente, viabilizam o “encapsulamento informacional” a partir das capacidades de entrada e saída dos sistemas sensorial/perceptivo disponíveis para a cognição.

“A arquitetura neural, estou sugerindo, é o concomitante natural do encapsulamento informacional. [...] enquanto a arquitetura mental corresponde a grosso modo, “[...] a algo que foi montado a partir de pedaços menores”¹¹⁵ (Ibidem, 1983, p. 99).

Recapitulando as inferências supracitadas e tomando como base para a reflexão o conhecimento científico advindo do funcionamento dos neurônios e do encéfalo humano podemos elaborar o pensamento da seguinte maneira: existem genes neurais que se encontram no núcleo da célula que ao serem sintetizados predispõe o neurônio a receber determinadas características anatômicas e funcionais que podem ser compartilhadas com outros neurônios. Logo, existem células neurais que nascem com regras de organização anatômica e de processamento funcional que podem se conectar por meio de botões sinápticos formando assim uma rede específica de processamento. Basta pensar nos neurônios que compõem o sistema da visão, audição ou nas redes neurais especializadas na codificação da percepção da fala como supõem Liberman e Mattingly (1985).

A propósito do termo encapsulamento informacional compreendemos que se trata de um mecanismo neurobiológico correlacionado a formação e consolidação da memória. Isto é, a capacidade metabólica das células neurais em reter informações por meio de novas conexões ou pelo reforço das mesmas. Cabe lembrar que um neurônio ou uma população neural não processa qualquer tipo de informação. O encéfalo humano é altamente organizado nas esferas estruturais e funcionais. Por exemplo, ao examinar o nível funcional de uma única célula neural como os NE, encontramos características altamente especializadas, assim como existem células visuais ou auditivas específicas

¹¹⁵ Trecho original: “Neural architecture, I'm suggesting, is the natural concomitant of informational encapsulation. [...] something that has been put together from smaller bits”.

para determinadas funções. Tendo em vista que um único neurônio pode apresentar propriedades funcionalmente singulares, podemos imaginar seu funcionamento em rede, isto é, participando da codificação de informações enviadas e recebidas de diferentes níveis de processamento em diversos sítios corticais. Nessa perspectiva, compreendemos em consonância com Fodor que a arquitetura neural, ou melhor, uma rede de neurônios conectados por afinidade funcional corresponde ao representante neurobiológico do encapsulamento funcional. Aliás, a hipótese de que a arquitetura mental emerge do conjunto de códigos processados em diferentes níveis de organização estrutural e funcional remete ao interesse de Fodor na confirmação científica de que a estrutura da mente “[...] seja o único processo cognitivo “global”, não encapsulado e holístico [...]”¹¹⁶ (Ibidem, 1983, p. 106, aspas do autor). Recorrendo a sua terminologia, a arquitetura virtual da mente corresponde a um “[...] processo cognitivo holístico”¹¹⁷ (Ibidem, 1983, p. 106, aspas do autor). Afinal, para exemplificar a organização estrutural e funcional dos sistemas sensório-motor (encapsulado) e cognitivo, Fodor recorre ao modelo computacional do qual:

“Os teóricos da computação quando querem falar sobre sistemas computacionais de uma forma que abstraia da diferença entre processadores montados [arquitetura da mente] e primitivos [input/output dos órgãos sensoriais da percepção], muitas vezes falam de identidades de arquitetura virtual. [...] por exemplo, pode haver dois dispositivos, ambos podem ser programados para realizar cálculos aritméticos simples, que são idênticos na arquitetura virtual, pois ambos podem executar instruções do tipo 'adicionar m a n'. No entanto, pode ser que a relação da arquitetura virtual dessas máquinas com sua organização computacional mais elementar e, eventualmente, com sua organização física seja bem diferente: para uma delas, adicionar números inteiros é uma operação simples e primitiva (realizada, talvez, fazendo alguma medição em tensões em um circuito); enquanto para o outro, a adição requer uma sequência de cálculos mediadores [...]. Para a segunda máquina então, a adição é uma operação montada (e em consequência os comandos para adicionar números inteiros devem ser "compilados" nas seqüências apropriadas de operação elementar antes que possam ser executados). As máquinas podem, no entanto,

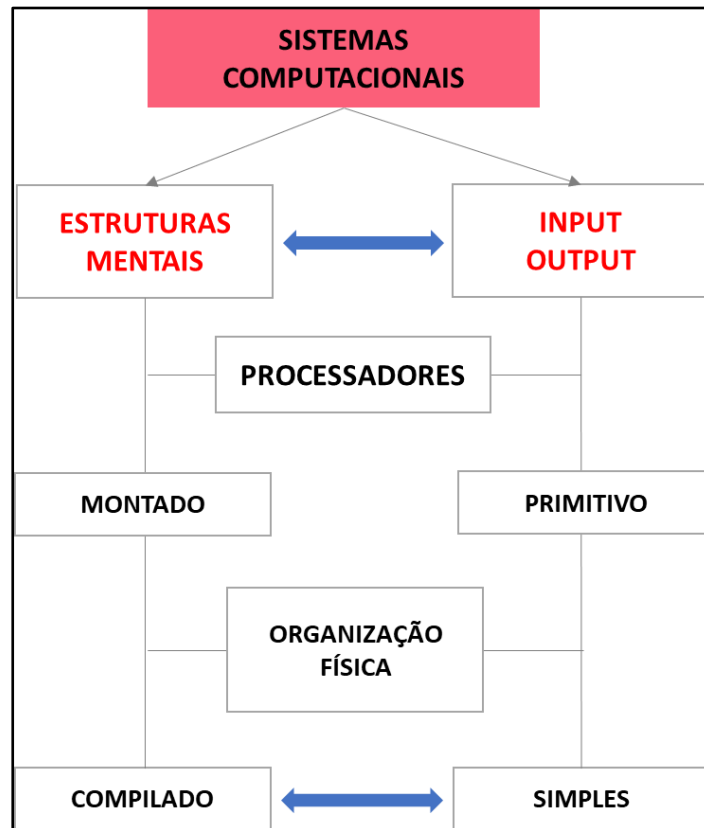
¹¹⁶ Trecho original: “[...] be the only “global”, non-encapsulated and holistic cognitive process [...]”.

¹¹⁷ Trecho original: “[...] holistic cognitive process”.

ser idênticas (não apenas em suas funções de entrada/saída, mas também) no conjunto de programas que podem executar; daí a possibilidade da arquitetura virtual idêntica entre máquinas que são "conectadas" em um caso e montadas no outro"¹¹⁸ (Ibidem, 1983, p. 33-34, aspas e parênteses do autor).

Elaboramos o seguinte esquema para ilustrar a citação anterior.

Figura 19 - Esquema da organização de sistemas computacionais.



Fonte: Produção do próprio autor. As setas bidirecionais em azul representam a relação de concomitância dependência entre os sistemas.

¹¹⁸ Trecho original: "Computer theorists, when they want to talk about computer systems in a way that abstracts the difference between assembled [mind architecture] and primitive [sensory motor input/output] processors, often talk about virtual architecture identities. For example, there can be two devices, both can be programmed to perform simple arithmetic calculations, which are identical in the virtual architecture as both can execute 'add m to n' instructions. However, it may be that the relationship of the virtual architecture of these machines to their most elementary computational organization and, eventually, to their physical organization is quite different: for one of them, adding integers is a simple and primitive operation (performed, perhaps, by doing some measurement of voltages in a circuit); while, for the other, addition requires a sequence of mediating calculations [...]. For the second machine, then, addition is a mounted operation (and consequently commands for adding integers must be "compiled" into the proper elementary operation sequences before they can be executed). The machines can, however, be identical (not only in their input/output functions, but also) in the set of programs they can execute; hence the possibility of identical virtual architecture between machines that are "plugged in" in one case and mounted in the other".

Examinando a partir do retângulo superior preenchido na cor vermelha temos que o esquema infere que ambos os sistemas, estruturas mentais e *input-output*, são considerados sistemas computacionais. As semelhanças se estendem pelo fato de estarem conectados a processadores e organizados no nível neurobiológico. No entanto, estão montadas de modo diferente, pois cada qual dispõe de uma configuração de processamento e organização física. Ou seja, as estruturas mentais emergem da compilação de cálculos mediados sistematicamente, isto é, processadores que montam outros programas a partir de múltiplas instancias funcionais. Descrevendo com outras palavras, o conjunto dos códigos computacionais processados em diferentes níveis viabilizam a emergência de uma interface maior. De modo geral, essa emergência decorre dos processos globais que perpassam pela organização anatômica e funcional do encéfalo e suas partes que estão em contato com o corpo circunscrito em um ambiente. Aliás, os sistemas computacionais *input-output* correspondem aos módulos disponíveis à cognição, ou seja, as redes neurais especializadas na codificação de informações advindas dos sistemas sensoriais que subjazem a percepção. Nesse caso, o módulo da produção e percepção da linguagem falada é compreendido por Fodor como sendo processadores primitivos, pois refletem certas possibilidades ontogenéticas que foram se estabelecendo no curso de desenvolvimento de sistemas determinados endogenamente. Segunda Fodor (Ibidem, p. 101):

“Podemos abreviar tudo isso afirmando que os sistemas de entrada constituem uma família de módulos: sistemas computacionais de domínio específico caracterizados por encapsulamento informacional, alta velocidade, acesso restrito, especificidade neural e o resto”¹¹⁹.

Sendo assim, podemos inferir que os códigos neurais processados nos módulos que compõem os sistemas de percepção primitiva viabilizam uma rápida resposta adaptativa mediante os estímulos que chegam até a superfície dos órgãos sensoriais do corpo humano. O esquema como um todo ilustra que ambos os sistemas computacionais (a cognição e os órgãos da percepção sensorial), possuem suas próprias formas de estruturação e organização

¹¹⁹ Trecho original: “We can abbreviate all this by the claim that the input systems constitute a family of modules: domain-specific computational systems characterized by informational encapsulation, high -speed, restricted access, neural specificity, and the rest”.

funcional, porém operam de modo concomitante. Salientando tal hipótese com base nas palavras de Fodor, temos que ambos os sistemas computacionais estão conectados em um caso e montados de outro. Além do mais:

“Os processos computacionais são, por definição, sintáticos; um dispositivo que disponibiliza a informação a tais processos é, portanto, responsável pelo seu formato, bem como pela sua qualidade. [...] Ou, para colocar de um modo que soa psicológico, se pensarmos nos mecanismos perceptivos como análogos a tais dispositivos, então estamos dizendo que o que a percepção deve fazer é representar o mundo de modo a torná-lo acessível ao pensamento”¹²⁰ (ibidem, 1983, p. 40).

Nessa perspectiva compreendemos que o autor está se referindo a mecanismos encarregados de combinar informações que subjazem a emergência virtual da cognição. A combinação de códigos neurais remete a uma característica estrutural da mente, da qual Fodor (1983, p. 39), sugere que “[...] mentes são essencialmente dispositivos de manipulação de símbolos”¹²¹. Aliás, os mecanismos que precedem a arquitetura virtual da mente, isto é, os “sistemas subsidiários” ou “sistemas computacionais subsidiários”, denotam que existem mecanismos que “operam relativamente cedo”¹²² (Ibiden, 1983, p. 40). Ou seja, encontram-se no nível dos sistemas de *input-output* que se correlacionam com a interface cognitiva.

[...] “os transdutores são sistemas analógicos que recebem estímulos proximais em sinais neurais covariáveis de forma mais ou menos precisa. Os mecanismos de transdução são assim contrastados com os mecanismos computacionais: enquanto os últimos podem realizar transformações bastante complicadas do tipo inferência, os primeiros devem – pelo menos idealmente – preservar o conteúdo informacional

¹²⁰ Trecho original: “[...] “Computational processes are, by definition, syntactic; a device that makes information available to such processes is therefore responsible for its format as well as its quality. [...] Or, to put it in a psychological-sounding way, if we think of perceptual mechanisms as analogous to such devices, then we are saying that what perception must do is represent the world in such a way as to make it accessible to thought”.

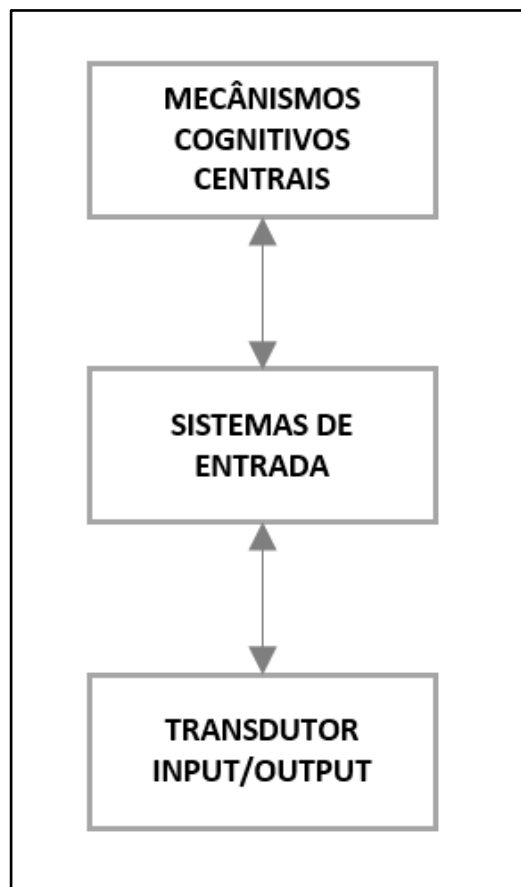
¹²¹ Trecho original: “[...] minds are essentially symbol-manipulating devices”.

¹²² Trechos originais empregados por ordem de escrita: “subsidiary systems”; “subsidiary computational systems”; “operate relatively early”.

de suas entradas, alterando apenas o formato em que a informação é transmitida”¹²³ (Ibidem, 1983, p. 41).

Recapitulando as hipóteses e empregando a taxonomia utilizada por Fodor compreendemos que os sistemas computacionais subsidiários também chamados de “sistemas de entrada”, ou “analisadores de entrada” ou, às vezes, “sistemas de interface”, são mecanismos “pós-transdutivos” que segundo o autor, “transdutor” indica que tais mecanismos possuem um certo tipo de encapsulamento informacional. Tendo em vista a pluralidade taxonômica empregada por Fodor em seu ensaio sobre a teoria modular da mente, elaboramos o seguinte esquema com o intuito de facilitar a compreensão:

Figura 20 - Esquema da taxonomia funcional tricotômica.



Fonte: Produção do próprio autor.

¹²³ Trecho original: “transducers are analog systems that receive proximal stimuli in covariate neural signals more or less accurately. Transduction mechanisms are thus contrasted with computational mechanisms: while the latter can perform quite complicated, inference-like transformations, the former must – at least ideally – preserve the informational content of their inputs, only changing the format in which the information is transmitted”.

Iniciando a análise do esquema de cima para baixo temos que o retângulo denominado “mecanismos cognitivos centrais”, corresponde a noção de sistema central que aparece como sinônimo dos seguintes termos: mente, cognição, sistema psicológico, estrutura virtual da mente. O sistema central não pertence a um domínio específico, isto é, são sistemas informacionais não encapsulados. Logo, não são localizáveis a uma arquitetura neural específica, pois são amodulares. Nas palavras do autor (1983, p. 13): “[...] os processos mentais são computacionais na medida em que são cognitivos, portanto, a função típica dos mecanismos cognitivos é a transformação de representações mentais”¹²⁴. Além do mais a estrutura da mente é um sistema isotrópico/Quiniano, do qual:

“[...] sistemas isotrópicos/Quinianos são *ipso facto* não encapsulados; e se não encapsulado, então presumivelmente não modular. Ou melhor, visto que tudo isso é uma questão de grau, é melhor dizermos que na medida em que um sistema é quiniano e isotrópico, ele também é não-modular. Se, em suma, as considerações isotrópicas e quinianas são especialmente prementes na determinação do curso dos cálculos que o sistema central realiza, deve seguir-se que esses sistemas diferem em seu caráter computacional das faculdades verticais.”¹²⁵ (Ibidem, 1983, p. 111, itálico do autor).

A hipótese de que esse sistema comporta uma computação global sugere que:

“Sistemas Quinianos/isotrópicos, onde mais ou menos qualquer subsistema pode querer falar com qualquer outro mais ou menos a qualquer momento. Nesse caso, você esperaria que a neuroanatomia correspondente fosse relativamente difusa. No limite, você pode ter uma rede aleatória com cada subsistema computacional conectado direta ou indiretamente uns aos outros; um tipo de ligação em que você obtém um mínimo de correspondência estável entre a forma neuroanatômica e a função psicológica. O ponto é que em sistemas Quinianos/isotrópicos, pode ser a conectividade instável e instantânea

¹²⁴ Trecho original: “[...] mental processes are computational insofar as they are cognitive, hence that the typical function of cognitive mechanisms is the transformation of mental representations”.

¹²⁵ Trecho original: “[...] isotropic/Quineian systems are ipso facto unencapsulated; and if unencapsulated, then presumably non-modular. Or rather, since this is all a matter of degree, we had best say that to the extent that a system is Quineian and isotropic, it is also non-modular. If, in short, isotropic and Quineian considerations are especially pressing in determining the course of the computations that central system perform, it should follow that these systems differ in their computational character from the vertical faculties”.

que conta. Em vez de cabeamento você obtém uma conectividade que muda de momento a momento conforme ditado pela interação entre o programa que está sendo executado e a estrutura da tarefa em mãos. A moral parece ser que a isotropia computacional se comporta naturalmente com a isotropia neural [...], da mesma forma que o encapsulamento informacional se comporta naturalmente com a elaboração da fiação neural”¹²⁶ (Ibidem, 1983, p. 118).

Recapitulando o primeiro retângulo do esquema com base nas citações anteriores, podemos deduzir que os mecanismos cognitivos centrais dos quais possuem em certa medida sua própria forma de organização e funcionamento possuem seus representantes instanciados no vértice neurobiológico, mas não se reduzem aos mesmos. “O intelecto em si não poderia, portanto, ser neurologicamente localizável, assim como o instinto em si não poderia ser servido por um mecanismo cerebral específico”¹²⁷ (Ibidem, 1983, p. 15). Prossequindo com a análise do esquema, temos que o segundo retângulo “sistemas de entrada”, remete aos sistemas computacionais subsidiários do qual Fodor recorre ao termo “faculdades verticais” em referência ao trabalho do médico alemão Joseph Gall para inferir que “[...] a mente está estruturada em subsistemas funcionalmente distinguíveis”¹²⁸ (Ibidem, 1983, p. 14). Ou seja: “[...] as faculdades verticais são módulos (informacionalmente encapsulados, neurologicamente conectados, inatamente especificados e assim por diante)”¹²⁹ (Ibidem, 1983, p.119, parênteses do autor).

Refletindo sobre os pressupostos compreendemos que os sistemas de entrada correspondem a redes formadas por conexões neurais altamente

¹²⁶ Trecho original: “Quinean/isotropic systems, where more or less any subsystem may want to talk to any other at more or less any time. In this case, you would expect the corresponding neuroanatomy to be relatively diffuse. At the limit, you can have a random network, with each computer subsystem connected, directly or indirectly, to each other; a type of linkage where you get a minimum of stable correspondence between neuroanatomical form and psychological function. The point is that in Quinian/isotropic systems, it may be the unstable and instantaneous connectivity that counts. Instead of cabling, you get connectivity that changes from moment to moment, as dictated by the interaction between the program being executed and the structure of the task at hand. The moral seems to be that computational isotropy behaves naturally with neural isotropy [...], in the same way that informational encapsulation behaves naturally with the elaboration of neural wiring”.

¹²⁷ Trecho original: “Intellect per se could not, therefore, be neurologically localizable, any more than instinct per se could be subserved by a specific brain mechanism”.

¹²⁸ Trecho original: “[...] the mind is structured into functionally distinguishable sub-systems”.

¹²⁹ Trecho original: “[...] the vertical faculties are modules (informationally encapsulated, neurologically hardwired, innately specified and so forth)”.

especializadas que computacionalmente medeiam as representações mentais, assim como o transdutor de entrada e saída. Descrevendo com a terminologia de Fodor, os sistemas de entrada funcionam como “pós-transdutores”. Sendo assim, um circuito neural especializado corresponde a um módulo pertencente aos sistemas de entrada do qual seu processamento codifica informações que serão representadas virtualmente pelo sistema central. Fodor (1983, p. 76), menciona que:

“[...] pelo menos alguns dos efeitos do contexto da sentença no reconhecimento de fala devem ser como os psicólogos às vezes colocam 'pós-perceptivos'. Em nossa terminologia esses processos devem operar após o sistema de entrada fornecer uma análise (tentativa) do conteúdo lexical do estímulo. O ponto é que mesmo que a facilitação de itens redundantes seja mediada por mecanismos preditivos orientados por expectativas, a inibição de itens contextualmente anômalos não pode ser. É discutível que no curso da percepção da fala a pessoa está sempre à fazer previsões como que 'pimenta' ocorrerá em 'sal e - - -'; mas certamente também não se pode prever para sempre que 'cachorro', 'amanhã' e todas as outras expressões anômalas não ocorrerão lá. A moral é: alguns processos que resultam em identificações perceptivas são sem dúvida penetrados cognitivamente. Mas isso é compatível com o encapsulamento informacional dos próprios sistemas de entrada”¹³⁰.

Nessa concepção, vale salientar que o encapsulamento informacional processado por um ou mais módulos recebe e envia informações elaboradas no nível do sistema central. Ou seja, os módulos são penetrados cognitivamente. Em outras palavras, a percepção da linguagem (sistemas de entrada), são influenciadas pelos efeitos das expectativas de fundo (mecanismos cognitivos centrais). De modo simples, podemos pensar em um diálogo onde o emissor e receptor conseguem predizer o uso de termos, palavras, ou sentenças com base

¹³⁰ Trecho original: “[...] at least some of the effects of sentence context on speech recognition must be, as psychologists sometimes put it, 'post-perceptual'. In our terminology, these processes must operate after the input system has provided a (tentative) analysis of the lexical content of the stimulus. The point is that even if the facilitation of redundant items is mediated by predictive, expectation-driven mechanisms, the inhibition of contextually anomalous items cannot be. It is arguable that, in the course of speech perception, one is forever making predictions like that 'pepper' will occur in 'salt and - - -'; but it certainly cannot be predicted forever that 'dog', 'tomorrow' and all other anomalous expressions will not occur there. The moral is: some processes that result in perceptual identifications are undoubtedly cognitively penetrated. But this is compatible with the informational encapsulation of the input systems themselves”.

no contexto onde se encontram, além de suas próprias expectativas fundamentadas no conhecimento linguístico. Essa inferência vocabular sobre o que o outro pode dizer denota que o sistema cognitivo está penetrando o módulo especializado e manifestando alguma influência sobre seu processamento. Porém:

“O problema com tais demonstrações, no entanto, é que, embora mostrem que existem alguns processos de manipulação da linguagem que têm acesso às expectativas do ouvinte sobre o que é provável que seja dito, elas não mostram que os sistemas de entrada tenham tal acesso. Por exemplo, pode-se argumentar que em situações em que o estímulo é acusticamente degradado, o sujeito é de fato encorajado a adivinhar a identidade do material que não consegue ouvir. (Da mesma forma, *mutatis mutandis*, em experimentos de memória em que uma estratégia razoável para o sujeito é adivinhar o material que ele não consegue se lembrar). Não é de surpreender que em tais circunstâncias as informações de fundo do sujeito entrem em ação com efeito mensurável. A questão no entanto é se os mecanismos psicológicos empregados no processo lento, relativamente doloroso e altamente atencional de reconstruir estímulos linguísticos ruidosos ou de outra forma degradados são os mesmos mecanismos que medeiam os processos automáticos e fluentes da percepção normal da fala”¹³¹ (Ibidem, 1983, p. 75-76).

Fodor está questionando o grau de penetrabilidade da cognição sobre o módulo e vice-versa, isto é, quais são os mecanismos que perpassam por ambos. Para ilustrar sua reflexão é oportuno acrescentar o seguinte trecho:

“[...] a restauração de fonemas fornece uma evidência *prima facie* considerável de que a identificação do chamado tem acesso ao que o sujeito sabe sobre o inventário lexical de sua língua. Se essa interpretação estiver correta a restauração de fonemas ilustra o fluxo

¹³¹ Trecho original: “The trouble with such demonstrations, however, is that although they show that there exist some language-handling processes that have access to the hearer's expectations about what is likely to be said, they do not show that the input systems enjoy such access. For example, it might be argued that, in situations where the stimulus is acoustically degraded, the subject is, in effect, encouraged to guess the identity of the material that he can't hear. (Similarly, *mutatis mutandis*, in memory experiments where a reasonable strategy for the subject is to guess at such of the material as he can't recall.) Not surprisingly in such circumstances, the subject's background information comes into play with measurable effect. The question, however, is whether the psychological mechanisms deployed in the slow, relatively painful, highly attentional process of reconstructing noisy or otherwise degraded linguistic stimuli are the same mechanisms which mediate the automatic and fluent processes of normal speech perception”.

de informações de cima para baixo na percepção da fala. No entanto, não ilustra a penetrabilidade cognitiva do sistema de entrada da linguagem. Para mostrar que esse sistema é penetrável (portanto, informacionalmente não encapsulado), você teria que mostrar que seus processos têm acesso a informações que não são especificadas em nenhum dos níveis de representação que o sistema de entrada de linguagem computa; por exemplo, que tem acesso generalizado ao que o ouvinte sabe sobre as prováveis crenças e intenções de seus interlocutores. Se por outro lado a 'informação de fundo' empregada na restauração de fonemas é simplesmente o conhecimento que o ouvinte tem das palavras em sua língua, então isso conta como fluxo de cima para baixo dentro do módulo da linguagem; em qualquer explicação remotamente plausível, o conhecimento de uma língua inclui o conhecimento de seu léxico"¹³² (Ibidem, 1983, 76 – 77, parênteses do autor).

À primeira vista suas proposições sugerem que a previsão ou a reconstrução de um fonema orientado pelo contexto do qual perpassa pelo módulo da percepção da fala ocorre de cima para baixo. Ou seja, os mecanismos cognitivos centrais intervêm sobre os sistemas de entrada. No entanto, o autor propõe o seguinte raciocínio:

“Essas questões sobre de onde vem a informação que interage (se vem de dentro ou de fora do sistema de entrada) assumem uma importância especial à luz da seguinte consideração: é possível imaginar maneiras pelas quais os mecanismos internos de um módulo podem contribuir para por assim dizer, imitar os efeitos da penetração cognitiva. A operação de tais mecanismos pode assim convidar a superestimativas da extensão em que o módulo tem acesso aos recursos informacionais gerais do organismo”¹³³ (Ibidem, 1983, p. 78).

¹³² Trecho original: “[...] phoneme restoration provides considerable prima facie evidence that caller identification has access to what the subject knows about the lexical inventory of his language. If this interpretation is correct, phoneme restoration illustrates the top-down flow of information in speech perception. However, it does not illustrate the cognitive penetrability of the language input system. To show that this system is penetrable (hence informationally not encapsulated), you would have to show that your processes have access to information that is not specified at any of the representation levels that the language input system computes; for example, who has general access to what the listener knows about the likely beliefs and intentions of his interlocutors. If, on the other hand, the 'background information' employed in phoneme restoration is simply the listener's knowledge of the words in their language, then this counts as a top-down flow within the language module; On any remotely plausible explanation, knowledge of a language includes knowledge of its lexicon”.

¹³³ Trecho original: “These questions about where the interacting information comes from (whether it comes from inside or outside the input system) take on a special salience in light of

Partindo desse pressuposto os mecanismos internos de um módulo codificam efeitos intramodulares que estão ligados a “interlevels de input”. Ou seja, a interação entre o sistema central amodal, as redes neurais modais e os transdutores de entrada e saída apresentam em algum grau uma “penetrabilidade cognitiva”. Em outras palavras, existe uma interação funcional tricotômica.

“A grosso modo, endossar essa arquitetura computacional equivale a insistir em uma distinção percepção/cognição. É o mesmo que afirmar que uma certa classe de problemas computacionais de 'identificação de objetos' (ou, mais corretamente, uma classe de problemas computacionais cujas soluções consistem na recuperação de certas descrições proprietárias de objetos) foi "desanexada" do domínio da cognição em geral e entregue a mecanismos psicológicos funcionalmente distinguíveis. A análise perceptiva é segundo este modelo não estritamente falando uma espécie de pensamento”¹³⁴ (Ibidem, 1983, p. 43).

Nessa perspectiva, salientamos nossa compreensão de que os diferentes sistemas computacionais que estruturam os sistemas motor, sensorial e cognitivo operam de modo concomitante. Ou seja, mesmo que cada sistema possua suas particularidades que correspondem a sua organização estrutural e funcional, os mesmos operam como se fossem uma unidade indissociável. Nossa compreensão é endossada com a seguinte citação:

“Para ver que o encapsulamento informacional e a elaboração computacional são propriedades compatíveis, basta ter em mente que desencapsulamento é a exploração de informações de fora de um sistema; um sistema elaborado computacionalmente pode ser encapsulado se armazenar as informações que seus cálculos exploram. O encapsulamento é uma questão de relações exteriores; a

the following consideration: it is possible to imagine ways in which mechanisms internal to a module might contrive to, as it were, mimic effects of cognitive penetration. The operation of such mechanisms might thus invite overestimations of the extent to which the module has access to the organism's general informational resources”.

¹³⁴ Trecho original: “Roughly speaking, endorsing this computational architecture is tantamount to insisting on a perception/cognition distinction. It is tantamount to claiming that a certain class of 'object identification' computational problems (or, more correctly, a class of computational problems whose solutions consist of retrieving certain proprietary descriptions of objects) has been 'detached' from the domain of cognition in general and delivered to functionally distinguishable psychological mechanisms. Perceptual analysis is, on this model, not, strictly speaking, a kind of thinking”.

elaboração computacional começa dentro da casa”¹³⁵ (Ibidem, 1983, p. 83).

Por fim, ainda examinando o esquema da taxonomia funcional tricotômica, temos o retângulo identificado como transdutor de *input/output* que remete ao vértice funcional dos órgãos dos sentidos. Isto é, sistemas sensoriais que medeiam o contato inicial entre as informações originadas externamente e as representações internas. Nesse sentido, vale retomar um trecho mencionado anteriormente de que:

“[...] os transdutores são sistemas analógicos que recebem estímulos proximais em sinais neurais covariantes mais ou menos precisos. Os mecanismos de transdução são assim contrastados com os mecanismos computacionais: enquanto os últimos podem realizar transformações bastante complicadas do tipo inferência, os primeiros devem – pelo menos idealmente – preservar o conteúdo informacional de suas entradas, alterando apenas o formato em que a informação é transmitida”¹³⁶ (ibidem, 1983, p. 41).

Em outras palavras, os transdutores de entrada/saída correspondem aos canais de comunicação sensorial por onde perpassam os estímulos que chegam e saem da superfície do organismo. Ou seja, os órgãos da percepção que permeiam o contato do mundo externo com o universo interno das representações mentais.

“O caráter das saídas do transdutor é determinado de alguma forma legal pelo caráter da energia incidente na superfície do transdutor; e o caráter da energia na superfície do transdutor é legalmente determinado pelo caráter do layout distal. Como existem regularidades deste último tipo é possível inferir propriedades do layout distal a partir

¹³⁵ Trecho original: “To see that informational encapsulation and computational elaboration are compatible properties, it is only necessary to bear in mind that unencapsulation is the exploitation of information from outside a system; a computationally elaborated system can thus be encapsulated if it stores the information that its computations exploit. Encapsulation is a matter of foreign affairs; computational elaboration begins at home”.

¹³⁶ Trecho original: “[...] transducers are analog systems that receive proximal stimuli in more or less precise covariant neural signals. Transduction mechanisms are thus contrasted with computational mechanisms: while the latter can perform quite complicated, inference-like transformations, the former must – at least ideally – preserve the informational content of their inputs, only changing the format in which the information is delivered. transmitted”.

das propriedades correspondentes da saída do transdutor”¹³⁷ (Ibidem, 1983, p. 45).

Em suma, podemos inferir que os estímulos que chegam à retina ou ao ouvido interno operam de modo autônomo, isto é, são “[...] inflexivelmente insensível ao caráter de suas utilidades. “Você não pode ouvir a fala como ruído, mesmo que prefira”¹³⁸ (Ibidem, 1983, p. 53). Sendo assim, compreendemos o papel funcional dos transdutores de entrada/saída da seguinte forma: as ondas eletromagnéticas formadas por partículas de luz, isto é, fótons, ou as ondas mecânicas geradas por estímulos acústicos em particular produzidas pela articulação da fala são computadas de modo automático, pois compõem rotas únicas de entrada e saída dos transdutores que estão correlacionados aos sistemas de entrada que medeiam a conexão com os mecanismos cognitivos centrais. Dessa forma os transdutores de entrada/saída:

“[...] se aproximam da condição frequentemente atribuída aos reflexos: eles são automaticamente acionados pelos estímulos aos quais se aplicam. E isso é verdade tanto para os mecanismos de compreensão da linguagem quanto para os sistemas perceptivos tradicionalmente chamados”¹³⁹ (Ibidem, 1983, p. 55).

Afinal, a automaticidade dos transdutores modulares lembra um conhecido clichê citado por Fodor de que “Não pude deixar de ouvir o que você disse”¹⁴⁰ (Ibidem, 1983, p. 56). Descrevendo em termos poéticos: os ouvidos não podem ser fechados, ou melhor dizendo, não possuem pálpebras (Schafer, 1997). Ou seja, estão a todo momento computando informações linguísticas que independem da escolha voluntária do ouvinte. Tendo em vista a síntese da teoria modular da mente proposta por Fodor, resumimos a mesma na forma do seguinte esquema:

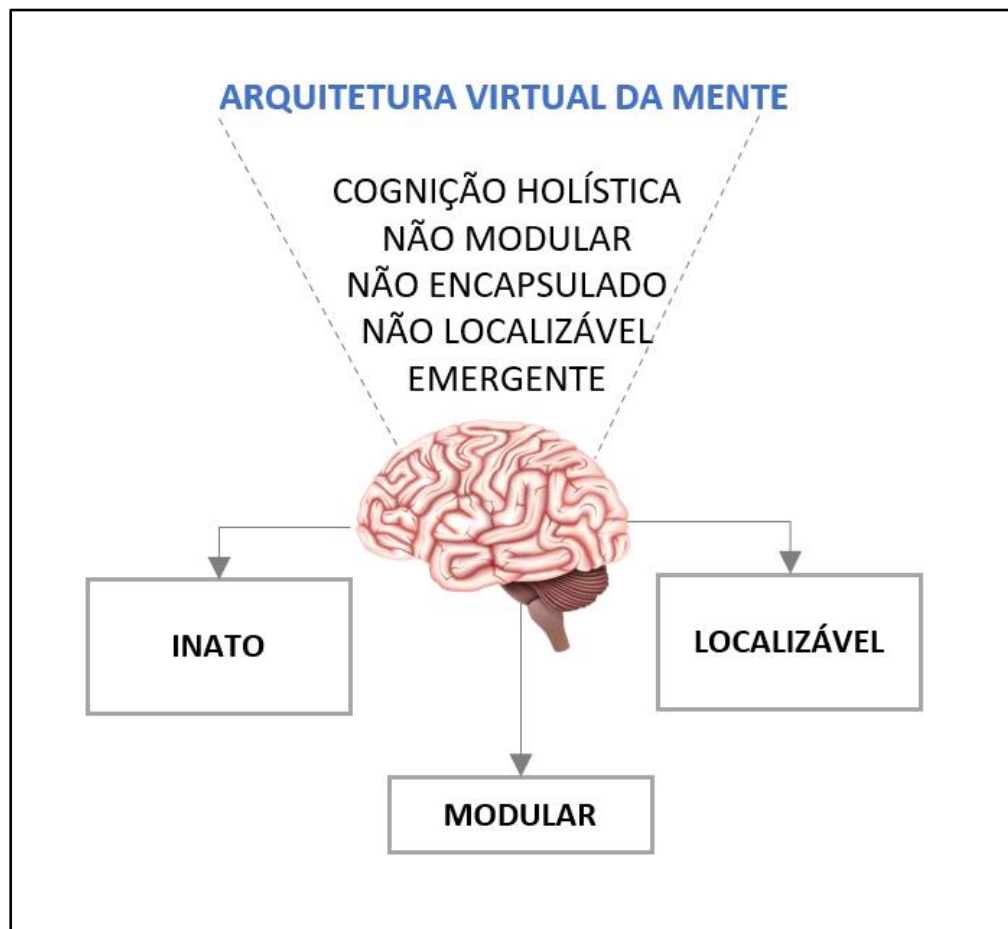
¹³⁷ Trecho original: “The character of the transducer outputs is determined, in some legal way, by the character of the energy incident on the surface of the transducer; and the character of the energy at the transducer surface is legally determined by the character of the distal layout. As there are regularities of the latter type, it is possible to infer properties of the distal layout from the corresponding properties of the output of the transducer”.

¹³⁸ Trecho original: “[...] inflexibly insensitive to the character of one's utilities. You can't hear speech as noise even if you would prefer to”.

¹³⁹ Trecho original: “[...] approximate the condition often ascribed to reflexes: they are automatically triggered by the stimuli that they apply to. And this is true for both the language comprehension mechanisms and the perceptual systems traditionally so-called”.

¹⁴⁰ Trecho original: “I couldn't help hearing what you said”.

Figura 21 - Esquema geral da teoria modular da mente.



Fonte: Produção do próprio autor. A linha tracejada ilustra a totalidade organizacional e funcional do encéfalo da qual emerge a arquitetura virtual da mente.

A partir da análise do esquema de baixo para cima elencamos os principais postulados da tese modular da mente:

- a) O termo módulo corresponde a um sistema neurobiológico inato. Um módulo equivale a uma rede neural funcionalmente específica. A determinação genética dos neurônios que compõem um circuito predispõe o tipo de encapsulamento informacional que uma rede vai computar.
- b) Os módulos comportam submódulos ou intermódulos que compõem a arquitetura neural de sistemas modulares. A sistemática estrutural dos módulos corresponde ao conjunto de instruções executadas por mecanismos computacionais.

- c) Os sistemas modulares são mecanismos computacionais no sentido que são processos neurobiológicos que subjazem a arquitetura virtual da mente. O termo computação denota um conjunto de instruções codificadas neurobiologicamente que precedem a arquitetura virtual da cognição.
- d) A cognição holística emerge da dinâmica do conjunto de instruções instanciados em diversos níveis do encéfalo como um todo. A arquitetura mental não é localizável, assim como é irreduzível ao conjunto de instruções codificadas neurobiologicamente. A arquitetura mental possui sua própria forma de organização e funcionamento, assim como o encéfalo.
- e) Os mecanismos cognitivos centrais, os sistemas de entrada e os transdutores formam um modelo computacional híbrido, capaz de operar com múltiplos códigos em interfaces distintas que se correlacionam de modo concomitante e dependente.

Finalmente, considerando os postulados apresentados por Fodor, podemos analisar como Liberman e Mattingly (1985), examinaram como o módulo fonético se assemelha ao conceito desenvolvido por Fodor. Segundo Liberman e Mattingly (1985, p. 27, aspas e parênteses do autor):

“Ao atribuir a percepção da fala a um “módulo” temos em mente a noção de modularidade proposta por Fodor (1983). Um módulo para Fodor é uma peça de arquitetura neural que executa os cálculos especiais necessários para fornecer aos processos cognitivos centrais representações de objetos ou eventos pertencentes a uma classe natural ecologicamente significativa para o organismo. Essa classe, o ‘domínio’ do módulo, também pode ser ‘excêntrico’, pois o domínio seria de outra forma, apenas uma província de algum domínio mais geral para o qual outro módulo deve ser postulado de qualquer maneira. Além da especificidade de domínio e da arquitetura neural especializada, um módulo possui outras propriedades características. Como o processo perceptivo que ele controla não é cognitivo, há pouca ou nenhuma possibilidade de consciência de quaisquer computações

realizadas dentro do módulo (“acesso central limitado”). Como o módulo é especializado ele tem uma saída 'rasa' consistindo apenas em representações rigidamente definíveis e relevantes para o domínio; conseqüentemente, ele processa apenas as informações relevantes para o domínio no estímulo de entrada. Seus cálculos são portanto, muito mais rápidos do que os dos processos menos especializados de cognição central. Pela importância ecológica de seu domínio para o organismo, o funcionamento do módulo não é uma questão de escolha, mas “obrigatória”; pela mesma razão, seus cálculos são “informacionalmente encapsulados”, isto é, protegidos do viés cognitivo”¹⁴¹.

De modo geral, os autores resumem nessa citação a natureza funcional do módulo encarregado pela computação da percepção e produção da fala. Uma das características desse módulo é sua velocidade de processamento que reflete sua especialização. Por exemplo, quando ouvimos uma pessoa falando sobre algum assunto escutamos/percebemos os sons da sua voz em um fluxo contínuo e quando falamos também percebemos naturalmente nossa própria forma de articular. Sendo assim, compreendemos que é natural falar sem precisar pensar em qual palavra vamos utilizar. Melhor dizendo, não paramos para escolher um ou mais fonemas ou grupo de subfonemas para compor nossa fala. É um processo de construção e produção espontâneo. Tal característica corresponde ao termo “informacionalmente encapsulado”, pois se trata de um módulo neurobiologicamente especializado na percepção e produção da fala.

É importante salientar que a teoria de Liberman e Mattingly (1985), vai além da tradição fonológica de examinar os sons da fala. Os autores buscam

¹⁴¹ Trecho original: “In attributing speech perception to a ‘module,’ we have in mind the notion of modularity proposed by Fodor (1983). A module, for Fodor, is a piece of neural architecture that performs the special computations required to provide central cognitive processes with representations of objects or events belonging to a natural class that is ecologically significant for the organism. This class, the ‘domain’ of the module, is apt also to be ‘eccentric,’ for the domain would be otherwise merely a province of some more general domain, for which another module must be postulated anyway. Besides domain-specificity and specialized neural architecture, a module has other characteristic properties. Because the perceptual process it controls is not cognitive, there is little or no possibility of awareness of whatever computations are carried on within the module (‘limited central access’). Because the module is specialized, it has a ‘shallow’ output, consisting only of rigidly definable, domain-relevant representations; accordingly, it processes only the domain-relevant information in the input stimulus. Its computations are thus much faster than those of the less specialized processes of central cognition. Because of the ecological importance of its domain for the organism, the operation of the module is not a matter of choice, but ‘mandatory’; for the same reason, its computations are ‘informationally encapsulated’, that is, protected from cognitive bias”.

compreender a forma pela qual a percepção e produção dos sons da fala são computados no cérebro. Ou seja, os mecanismos neurobiológicos que subjazem a percepção e produção dos códigos acústicos da língua. Para os autores a instância perceptiva da fala não se restringe ao nível fonológico, tendo em vista que o som serve como um guia para a percepção dos comandos motores da fala. Ou seja, “o objeto da percepção é motor”¹⁴² (Ibidem, 1985, p. 25). Segundo os autores:

“[...] é claro que a fala de alguma forma informa os ouvintes sobre as intenções fonéticas do falante. A afirmação particular da teoria motora é que essas intenções são representadas de uma forma específica no cérebro do falante, e que existe um módulo perceptivo especializado para conduzir o ouvinte sem esforço a essa representação”¹⁴³ (Ibidem, 1985, p. 9).

Vale salientar que um módulo perceptivo especializado corresponde a um módulo inato. Em outras palavras, um módulo representa uma rede de neurônios conectados por afinidade estrutural e funcional ao longo do seu desenvolvimento endógeno. Tais circuitos podem estabelecer conexões com outros módulos. Assim, uma família de módulos pode ser composta de módulos mais específicos, isto é, módulos dentro de módulos ou sistemas dentro de sistemas. Nesse sentido, podemos inferir que os módulos são sistemas complexos. A propósito, como mencionado em uma citação anterior o domínio de um módulo seria apenas uma província de algum domínio mais geral. Para Liberman e Mattingly (1985, p. 26, aspas dos autores):

“[...] o módulo compara algumas descrições paramétricas do sinal de entrada com descrições de sinais candidatos. Como acontece com qualquer forma de “análise por síntese” (cf. Stevens & Halle, 1967), tal explicação só é plausível se o número de candidatos que o módulo tem que testar puder ser mantido dentro de limites razoáveis. Este requisito é atendido, entretanto, se, como supomos, as descrições dos sinais candidatos são computadas por um análogo do processo de produção – um sintetizador de trato vocal interno, inatamente especificado por

¹⁴² Trecho original: “the object of perception is motoric”.

¹⁴³ Trecho original: “[...] it is clear that speech somehow informs listeners about the speaker's phonetic intentions. The particular claim of motor theory is that these intentions are represented in a specific way in the speaker's brain, and that there is a specialized perceptual module to effortlessly lead the listener to this representation”.

assim dizer (Lieberman, Mattingly; & Turvey, 1972; Mattingly & Liberman, 1969), que incorpora informações completas sobre as características anatômicas e fisiológicas do trato vocal e também sobre as consequências articulatórias e acústicas de gestos linguisticamente significativos”¹⁴⁴.

Nessa perspectiva, o módulo fonético opera com dois vértices. Primeiro, os eventos distais que ocorrem “do lado de fora”, ou seja, eventos determinados por princípios acústicos que são traduzidos automaticamente em padrões neurais de entrada do ouvido. Os autores exemplificam esse nível da seguinte forma: “[...] [são] módulos especializados que tratam dos primitivos da qualidade auditiva [...], entram em ação quando as pessoas percebem, por exemplo, assobios, buzinas, vidros quebrados e cães latindo”¹⁴⁵ (Ibidem, 1983, p. 9). O segundo vértice do módulo fonético corresponde ao estímulo proximal, isto é, os comandos neuromotores internos ao falante. Ambos os vértices operam de modo análogo, pois a percepção da fala distal se sobrepõe aos gestos articulatórios proximais. Ou seja:

“[...] o objeto distal é um gesto fonético ou mais explicitamente um comando neural “a montante” para o gesto a partir do qual os movimentos articulatórios periféricos se desdobram. Segue-se que a relação entre objeto distal e estímulo proximal terá a particularidade de ser determinada não apenas por princípios acústicos, mas também por processos neuromusculares internos ao falante. É claro que análogos desses processos também estão disponíveis como parte do dom biológico do ouvinte”¹⁴⁶ (Ibidem, 1983, p. 9, aspas dos autores).

¹⁴⁴ Trecho original: “the module compares some parametric description of the input signal with candidate signal descriptions. As with any form of ‘analysis-by-synthesis’ (cf. Stevens & Halle, 1967), such an account is plausible only if the number of candidates the module has to test can be kept within reasonable bounds. This requirement is met, however, if, as we suppose, the candidate signal descriptions are computed by an analogue of the production process—an internal, innately specified vocal-tract synthesizer, as it were (Lieberman, Mattingly; & Turvey, 1972; Mattingly & Liberman, 1969)—that incorporates complete information about the anatomical and physiological characteristics of the vocal tract and also about the articulatory and acoustic consequences of linguistically significant gestures”.

¹⁴⁵ Trecho original: “specialized modules that deal with the primitives of auditory quality, however they are to be characterized, and that come into play when people perceive, for example, whistles, horns, breaking glass, and barking dogs”.

¹⁴⁶ Trecho original: “[...] the distal object is a phonetic gesture or, more explicitly, an “upstream” neural command for the gesture from which the peripheral articulatory movements unfold. It follows that the relationship between distal object and proximal stimulus will have the particularity of being determined not only by acoustic principles, but also by neuromuscular processes internal to the speaker. Of course, analogues of these processes are also available as part of the listener’s biological endowment”.

Tendo em vista a especialidade do módulo em converter um sinal acústico distal em gestos motores proximais, os autores sugerem que a percepção e produção motora da fala condiz com o modelo de computação da percepção da fala nomeado de “análise por síntese” (Stevens e Halle, 1967), do qual infere que o módulo aceita “[...] uma onda de fala em sua entrada e gera uma sequência de símbolos fonéticos em sua saída; [além de aceitar] uma sequência de símbolos em sua entrada e gerar uma onda de fala”¹⁴⁷. (Stevens e Halle, 1967, p. 47). Complementando a hipótese:

“Cada estágio de análise é realizado pela síntese de um número de sinais ou padrões alternativos de acordo com as regras armazenadas [no módulo] e pela comparação dos padrões sintetizados com os sinais de entrada que estão sob análise”¹⁴⁸ (Ibidem, 1967, p. 47).

Correlacionando tais inferências com base no conhecimento neurobiológico Liberman e colaboradores (1967, p. 454), pensam os estágios de análise por síntese realizado por um módulo:

“[...] em termos de atividade sobreposta de várias redes neurais – aquelas que fornecem sinais de controle para os articuladores e aquelas que processam padrões neurais de entrada do ouvido - e supor que a informação pode ser correlacionada por essas redes e passada por elas em qualquer direção”¹⁴⁹.

Recapitulando as hipóteses sobre a natureza estrutural e funcional de um módulo fonético reconhecemos que se trata de um mecanismo neurobiológico especializado na codificação dos gestos articulatórios da fala. Tais gestos estão representados em forma de comandos neuromotores que subjazem a percepção e produção acústica dos fonemas. Essa capacidade natural condiz com um processador inato capaz de computar rapidamente sinais de entrada e saída, ou seja, a percepção e produção dos movimentos articulatórios dos sons da fala.

¹⁴⁷ Trecho original: “[...] a speech wave at its input and generates a sequence of phonetic symbols at its output; [in addition to accepting] a sequence of symbols on its input and generating a speech wave”.

¹⁴⁸ Trecho original: “Each stage of analysis is performed by synthesis of a number of alternative signals or patterns according to rules stored within the [module] and by comparison of the synthesized patterns with the input signals that are under analysis”.

¹⁴⁹ Trecho original: “[...] in terms of overlapping activity of several neural networks—those that supply control signals to the articulators and those that process incoming neural patterns from the ear—and to suppose that information can be correlated by these networks and passed through them in either direction”.

Em outras palavras, as coordenadas motoras instanciadas em redes neurais ou módulos no córtex cerebral tanto do emissor quanto do receptor de uma língua viabilizam a eficiência da percepção e produção dos códigos acústicos da fala. Nesse sentido, os gestos enunciativos correspondem a um conjunto invariável de comandos neuromotores que comportam os sinais da fala em gestos articulatórios.

Antes de concluir, vale salientar duas características que o módulo fonético apresenta. A primeira condiz com sua impenetrabilidade cognitiva, ou seja, “[...] a percepção da fala é realizada sem tradução cognitiva”¹⁵⁰ (Liberman e Mattingly, 1985, p. 1). Nas palavras dos autores a percepção dos códigos da fala “[...] é normalmente disponibilizada à consciência somente depois que toda a informação acústica relevante está disponível”¹⁵¹ (ibidem, 1985, p. 13). Sendo assim, entendemos que o módulo fonético não pode ser penetrado cognitivamente. Descrevendo em outras palavras, o falante não tem acesso a computação realizada no interior do módulo, isto é, não há consciência sobre os níveis de codificação que subjazem a percepção e produção da fala. De modo sucinto, o módulo está protegido do viés cognitivo, ou seja, o falante não tem acesso perceptivo aos cálculos informacionalmente encapsulados nas redes neurais que subjazem a percepção e produção dos códigos da fala. O segundo aspecto sobre o módulo fonético é seu processamento imediato. Como descrevemos anteriormente o domínio específico de processamento é determinado geneticamente. Seu inatismo estrutural e funcional salienta sua relevância ecológica para o organismo como um todo. Assim, a arquitetura neural do módulo fonético viabiliza uma computação rápida que calcula apenas o essencial no domínio do estímulo de entrada, assim como, a representação modular para a saída. Tendo em vista que os comandos motores são invariáveis, é pertinente inferir que tal sistema modular computa um número finito de movimentos articulatórios que estão na base dos gestos fonéticos.

Antes de concluir o exame da teoria motora da percepção e produção da fala e compreender como o mecanismo funcional dos NE foram associados a

¹⁵⁰ Trecho original: “[...] speech perception is performed without cognitive translation”.

¹⁵¹ Trecho original: “[...] is normally made available to consciousness only after all relevant acoustic information is available”.

essa teoria, vale mencionar que Liberman e Mattingly (1985, p. 28), sugerem que “O que temos chamado de módulo fonético é então mais apropriadamente chamado de módulo linguístico”¹⁵². Assim sendo, o módulo linguístico “[...] não é meramente fonético, mas também fonológico e sintático”¹⁵³ (Ibidem, 1985, p. 9). Portanto, o módulo fonético, fonológico ou sintático compreende domínios específicos de módulos que pertencem a um domínio mais geral, ou seja, o módulo linguístico.

“Evidentemente a percepção linguística é rápida e obrigatória; indiscutivelmente, ela é encapsulada informacionalmente – isto é, suas análises fonéticas, morfológicas e sintáticas não são tendenciosas pelo conhecimento do mundo – e sua saída é superficial – isto é, ela produz uma descrição linguística do enunciado e apenas isto”¹⁵⁴ (Ibidem, 1985, p. 28).

Nesse caso, podemos inferir que o conhecimento do mundo advém do vértice cognitivo que não penetra os módulos que compõem o módulo linguístico. Quer dizer, a estrutura virtual da cognição não tem acesso aos cálculos informacionalmente encapsulados que são computados dentro da família de módulos da linguagem. Em suma, o módulo linguístico comporta as mesmas características do módulo fonético: inato, especializado, localizado e neurobiologicamente especializado. Porém, denota um conjunto de módulos que constitui o sistema neurobiológico da linguagem. Afinal, é importante lembrar que o módulo linguístico está situado no vértice neurobiológico e não na estrutura virtual da mente onde ocorrem a computação simbólica da linguagem.

Tendo em vista as considerações supracitadas e analisadas podemos indagar: Como a organização estrutural e funcional dos NE estão correlacionados com a teoria motora da percepção e produção da fala? Podemos assumir que uma população de NE conectados em rede corresponde a um módulo funcionalmente especializado na computação de informações sensoriais do tipo visual, motor e auditivo que subjazem a percepção e produção da fala.

¹⁵² Trecho original: “What we have been calling a phonetic module is then more properly called a linguistic module”.

¹⁵³ Trecho original: “[...] is not merely phonetic, but phonological and syntactic as well”.

¹⁵⁴ Trecho original: “Evidently, linguistic perception is fast and mandatory; arguably, it is informationally encapsulated—that is, its phonetic, morphological and syntactic analyses are not biased by knowledge of the world—and its output is shallow—that is, it produces a linguistic description of the utterance, and only this”.

Ao considerarmos a rede de NE como sendo um módulo, podemos sugerir que seu funcionamento é automático, isto é, sua computação é impenetrável à cognição. Nesse caso, o módulo de NE está situado no nível do sistema de entrada segundo a terminologia de Fodor, pois sua organização estrutural e funcional corresponde a computação de informações que medeiam o transdutor *input/output*, além do mecanismo cognitivo central. Tendo em vista as inferências examinadas nesse subcapítulo sumarizamos as principais hipóteses da seguinte maneira:

- a) A teoria motora da percepção da fala sugere que o objeto da percepção da fala não se restringe ao som, mas sim aos comandos motores dos órgãos da fala. O som serve como um guia para a percepção dos comandos motores que são invariáveis. A regularidade dos gestos motores da produção da fala delimita uma quantidade de comandos neurobiologicamente recrutados para a linguagem.
- b) A percepção e produção dos códigos acústicos da fala é mediada por circuitos neurais especializados que correspondem a um módulo. O módulo é inato, localizável e inacessível a cognição. Ou seja, é impenetrável pela percepção consciente. O módulo da fala abrange a percepção primária que não requer um tratamento cognitivo, quer dizer, não perpassa por funções de alta ordem.
- c) Os códigos fonéticos são percebidos e produzidos computacionalmente por redes neurais localizadas principalmente no hemisfério esquerdo do córtex cerebral do receptor/emissor. Os códigos computacionais que subjazem a percepção e produção dos sinais acústicos da fala operam com dados informacionais advindos de fontes distais, sons da fala, e proximais, comandos neuromotores que correspondem a articulação dos sons emitidos ou percebidos. A correspondência entre um código acústico da fala e seu comando motor viabiliza o reconhecimento imediato do sinal sonoro.

- d) A organização estrutural e funcional dos NE condiz com a natureza arquitetônica e operacional do módulo. O circuito de NE é inato, localizável e possui um processamento rápido devido sua importância ecológica que não requer um tratamento cognitivo. O papel funcional dos NE comporta os sinais acústicos dos códigos distais da fala em representações internalizadas no sistema motor. A percepção da linguagem falada é reconhecida a partir do repertório sensório motor instanciado no córtex cerebral esquerdo do emissor/receptor.
- e) O módulo linguístico compreende uma família de módulos que computam informações fonéticas, fonológicas e sintáticas. Os circuitos neurais especializados na computação fonética perpassam pelo funcionamento dos circuitos de NE.

CAPÍTULO 4 - NEURÔNIOS ESPELHO E SEMÂNTICA

Quando os NE foram descobertos no início dos anos 1990, a teoria computacional da cognição era um modelo influente na época, no entanto:

“A teoria do neurônio espelho alimentou e foi alimentada por esse movimento de cognição incorporada. Tanto assim, de fato, que os neurônios espelho e a cognição incorporada tornaram-se profundamente enredados”¹⁵⁵ (Hickock, 2014, p. 264).

A noção de incorporação remonta aos estudos filosóficos sobre a correlação entre o corpo, a percepção, o comportamento e a cognição humana apresentados a partir das obras literárias do fenomenólogo francês Maurice Merleau-Ponty¹⁵⁶ (1962); do filósofo alemão Martin Heidegger¹⁵⁷ (1962); e do filósofo austríaco naturalizado britânico Ludwig Joseph Johann Wittgenstein¹⁵⁸ (1953)¹⁵⁹. Vale citar alguns trechos da obra “Fenomenologia da percepção” de Merleau-Ponty (1945)¹⁶⁰.

“O corpo propriamente dito está no mundo como o coração no organismo: mantém continuamente vivo o espetáculo visível, anima-o e nutre-o internamente, forma com ele um sistema¹⁶¹ (p. 235). [...] A percepção externa e a percepção do próprio corpo variam juntas porque são duas faces do mesmo ato¹⁶² (p. 237). [...] Qualquer percepção exterior é imediatamente sinônimo de uma certa percepção do meu corpo, tal como qualquer percepção do meu corpo se explica na linguagem da percepção exterior¹⁶³ (p. 239). [...] É através do meu

¹⁵⁵ Trecho original: “Mirror neuron theory has both fueled and been fueled by this embodied cognition movement. So much so, in fact, that mirror neurons and embodied cognition have become deeply enmeshed”.

¹⁵⁶ Maurice Merleau-Ponty, nascido em 1908, falecido em 1961.

¹⁵⁷ Martin Heidegger, nascido em 1889, falecido em 1976.

¹⁵⁸ Ludwig Joseph Johann Wittgenstein, nascido em 1889, falecido em 1951.

¹⁵⁹ Incorporação em inglês corresponde ao termo “embodied”. É comum encontrar na literatura as seguintes expressões: embodied mind, embodied cognition, embodied semantic.

¹⁶⁰ Título original: “Phénoménologie de la perception”.

¹⁶¹ Trecho original: “Le corps propre est dans le monde comme le coeur dans l’organisme: il maintient continuellement en vie le spectacle visible, il l’anime et le nourrit intérieurement, il forme avec lui un système”.

¹⁶² Trecho original: “La perception extérieure et la perception du corps propre varient ensemble parce qu’elles sont les deux faces d’un même acte”.

¹⁶³ Trecho original: “Toute perception extérieure est immédiatement synonyme d’une certaine perception de mon corps, de même que toute perception de mon corps s’explique dans le langage de la perception extérieure”.

corpo que compreendo os outros, assim como é através do meu corpo que percebo as “coisas”¹⁶⁴ (p. 216, aspas do autor).

Tendo em vista a importância do corpo como eixo estrutural e funcional dos fenômenos humanos é importante esclarecer que o conceito de corpo segundo a concepção da cognição incorporada está em consonância com a sugestão de Merleau-Ponty de que o corpo não deve ser reduzido aos circuitos neurais do SNC, pois se trata de um corpo fenomenológico que está em correlação direta com o ambiente físico. Segundo Gallese (2005), a melhor definição de corpo para a cognição incorporada é o que ele chama de “sistema cérebro-corpo”, ou seja, a constituição orgânica do corpo e sua representação neurobiológica.

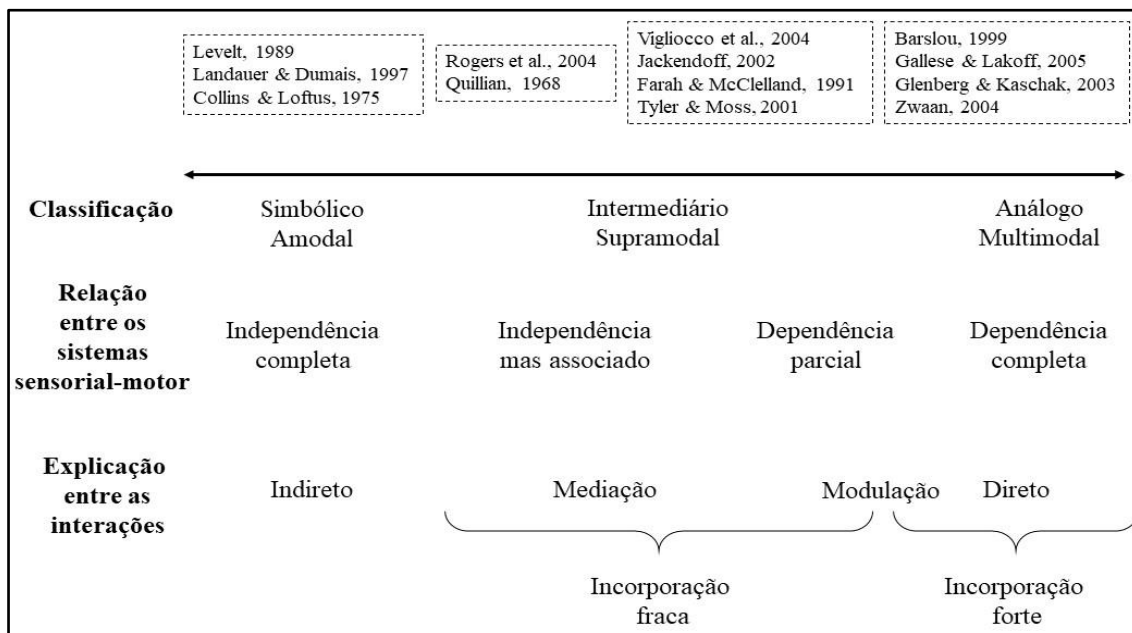
A partir da década de 1990, a concepção de incorporação surgiu como uma alternativa científica ao movimento cognitivista e ficou conhecido como pós-cognitivismo (Calvo e Gomila, 2008). Por um lado, os cognitivistas defendiam que os processos mentais ocorrem de forma amodal, ou seja, independem dos mecanismos neurobiológicos da percepção e da ação, assim como dos processos corporais e ambientais. Em contrapartida, os pós-cognitivistas assumem que o substrato neurofisiológico dos sistemas sensoriais e motores estão em consonância com o organismo que está circunscrito pelo ambiente e que são intrínsecos aos processos cognitivos. A correlação direta entre cognição, cérebro, corpo e ambiente foi reconhecida como incorporada. As múltiplas interpretações que o termo representa está de acordo com os diferentes programas de pesquisa, dentre eles a cognição incorporada (Ballard, 1991, Varela et al., 1991; Clancey, 1997), além de outras áreas que aplicaram princípios pós-cognitivistas da qual inclui a neurociência cognitiva (Skarda e Freeman, 1987; Damasio, 1994; Chiel e Beer, 1997; Jeannerod, 1997), e a linguística cognitiva (Lakoff e Johnson, 1980, 1999; Langacker, 1987, 1991; Regier, 1996; Tomasello, 1998).

De modo geral, as teorias da incorporação sugerem que o substrato neurobiológico dos sistemas sensoriais e motores desempenham um papel ativo e inseparável dos processos cognitivos do qual estão inclusos a imaginação e a linguagem. Basicamente existem duas hipóteses teóricas nesse campo de

¹⁶⁴ Trecho original: “C’est par mon corps que je comprends autrui, comme c’est par mon corps que je perçois des “choses””.

pesquisa. A primeira condiz com o pressuposto de que as redes neurais que compõem os sistemas sensoriais e motores exercem um fraco papel sobre a cognição. Em outras palavras, advoga-se pela tese de um engajamento indireto desses sistemas sobre a imaginação e o processamento semântico. A segunda hipótese remete a versão forte da incorporação, ou seja, os autores assumem que os sistemas sensoriais e motores são recrutados mediante uma representação mental ou uma percepção sensorial. Por exemplo, quando imaginamos uma pessoa chutando uma bola, o cérebro recruta as mesmas áreas das quais são necessárias para realizar o mesmo movimento. Nesse caso, a representação imagética da ação depende essencialmente da organização estrutural e funcional desses sistemas. Tendo em vista o volume de conhecimento que abrange o movimento pós-cognitivista, vale reproduzir o seguinte quadro:

Figura 22 - Esquema geral da teoria modular da mente.



Fonte: Adaptado de Calvo e Gomilla, (2008, p. 296). Os retângulos tracejados delimitam o trabalho dos autores que apresentam semelhanças teóricas. A linha horizontal bidirecional representa um *continuum* entre as perspectivas teóricas que partem do princípio de uma cognição simbólica/amodal que perpassa pelo intermediário/supramodal e culmina com a cognição incorporada análogo/multimodal. É curioso observar a transição sutil que marca as relações dos sistemas sensoriais e motores que refletem na classificação entre os mesmos. Os colchetes na horizontal delimitam a força da incorporação dos sistemas, ou seja, o grau de influência sobre a cognição.

O intuito desse capítulo é descrever os princípios basilares da cognição incorporada para compreender como os NE são correlacionados com essa

abordagem e seu papel mediante a semântica. Isto é, como essa classe de neurônios participada da codificação do sentido linguístico das palavras. Como examinamos anteriormente, a teoria computacional da cognição humana Fodor (1983), sugere que existem módulos especializados no cérebro humano que computam dados informacionais provindos tanto do ambiente, quanto do próprio organismo. Essas informações codificadas em bases neurais possuem sua representação no nível da estrutura virtual da mente. Nesse caso, o vértice cognitivo possui sua própria forma de simbolização, estruturação e organização funcional que independe do substrato neurofisiológico do qual emerge. Nessa perspectiva, a mente é desincorporada.¹⁶⁵

É importante salientar que a comparação entre a organização estrutural e funcional do computador digital em relação ao cérebro e a mente serve como uma heurística para examinar as bases neurobiológicas tanto do comportamento quanto da cognição.

“A ideia básica é que há informação por um lado e um conjunto de rotinas de processamento (aplicativos mentais ou algoritmos computacionais) por outro. A informação serve como entrada para as rotinas de processamento que então a transformam de acordo com o conjunto de computações definido no programa (por exemplo, se x , então y) e as rotinas de processamento emitem os resultados das transformações. A saída pode então ser armazenada como nova informação, servir como entrada para outros programas e, no caso de computadores digitais, controlar dispositivos como um monitor ou uma impressora. Entradas para um computador — pressionamentos de teclas, movimentos do mouse e cliques, capturas de imagens — não controlam diretamente o que é exibido no monitor ou o que a impressora imprime; em vez disso, essas entradas são processadas por vários aplicativos para convertê-las em palavras e imagens, resolver problemas de matemática ou jogar paciência. É a saída dos aplicativos que controla diretamente o que é exibido ou impresso. O ponto da analogia do computador ou mais precisamente da analogia do programa de computador é que a mente/cérebro funciona da mesma maneira: as entradas para o cérebro – fótons atingindo a retina,

¹⁶⁵ O termo desincorporado ou desencarnado corresponde a palavra em inglês “disembodied” ou “unembodied” empregado na literatura com intuito de caracterizar um sistema cognitivo que independente da organização estrutural e funcional do encéfalo e suas partes que estão em relação direta com o corpo e o ambiente (Gallese e Lakoff, 2005).

flutuações da pressão do ar atingindo o tímpano e assim por diante — não controla o comportamento humano diretamente; em vez disso, essas entradas são processadas por vários aplicativos neurais para convertê-las em palavras e imagens, resolver problemas de matemática ou jogar paciência”¹⁶⁶ (Hickock, 2014, p. 273 – 274).

Por outro lado, o movimento da cognição incorporada também denominada cognição corporificada, fundamentada ou situada, sugere que “[...] nosso conhecimento de mundo está fundamentado diretamente em nossas experiências sensoriais e motoras”¹⁶⁷ (Hickock, 2014, p. 264). Ou seja, a cognição incorporada compreende que “[...] o corpo é mais do que simplesmente uma concha para a mente, mais do que um recipiente que a mente pilota. O corpo está profundamente envolvido nas operações mentais”¹⁶⁸ (Shapiro, 2004, p. 187).

De modo geral, a teoria da computação cognitiva infere que as representações mentais independem do funcionamento dos sistemas sensoriais e motores que são responsáveis apenas por computar dados provindos tanto das percepções quanto das respostas emitidas através do comportamento. Em contrapartida a cognição incorporada concebe que as representações virtuais da mente juntamente com o comportamento estão enraizadas na organização estrutural e funcional dos circuitos neurais sensório-motores que perpassam

¹⁶⁶ Trecho original: “The digital computer was being developed around the same time and served as a convenient heuristic to think about how the brain might achieve such a feat. The basic idea is that there is information on the one hand and a set of processing routines (mental apps or computational algorithms) on the other. The information serves as input to the processing routines, which then transform it according to the set of computations defined in the program (e.g., if x, then y) and the processing routines output the results of the transformations. The output can then be stored as new information, serve as input to other programs, and, in the case of digital computers, control devices like a display or printer. Inputs to a computer—key presses, mouse jiggles and pokes, image captures—don’t directly control what’s displayed on the monitor or what the printer prints; rather, those inputs are processed by various apps to convert them into words and images, solve math problems, or play solitaire. It is the output of the apps that directly controls what is displayed or printed. The point of the computer analogy, or more accurately the computer program analogy, is that the mind/brain works the same way: the inputs to the brain—photons hitting the retina, air pressure fluctuations impinging on the ear drum, and so on—don’t control human behavior directly; rather, those inputs are processed by various neural apps to convert them to words and images, solve math problems, or play solitaire”.

¹⁶⁷ Trecho original: “[...] our knowledge of the world is grounded directly in our sensory and motor experiences”.

¹⁶⁸ Trecho original: “[...] the body is more than simply a shell for the mind, more than a vessel that the mind pilots. The body is deeply involved in mental operations”.

tanto pelo encéfalo e suas partes quanto pelo corpo que está em correlação direta com o ambiente.

“A cognição não é uma questão de segmentar simbolicamente ou subsimbolicamente, mas de interagir, de acoplar. Para entender um sistema cognitivo precisamos tomar como unidade de análise o “sistema” embutido em seu ambiente circundante – um tipo de interação em analogia com as noções biológicas de espécie e habitat. [...] a compreensão da cognição envolve a compreensão do sistema acoplado como tal, e não a mente/cérebro em si”¹⁶⁹ (Calvo e Gomilla, 2008, p. 7, aspas do autor).

O modelo da cognição computacional considera que por um lado existe um vértice independente que corresponde a arquitetura virtual da mente, e por outro, uma esfera que condiz com o módulo sensorial e motor instanciado neurobiologicamente. Esse modelo alude a concepção de que a percepção (*input* sensorial) é processada pela cognição que delibera uma resposta comportamental (*output* motor). Essa concepção de organização estrutural e funcional do sistema sensorial, cognitivo e motor, ficou conhecida como metáfora do sanduíche cognitivo (Hurley, 1998):

“Uma visão de percepção e ação como sistemas separados de entrada e saída complementa uma visão de pensamento e cognição como “centrais” e, por sua vez, separados dos sistemas “periféricos” de entrada e saída. O processamento virtual da cognição é visto como central, mesmo que sua implementação seja distribuída; a entrada para ela é fornecida pela percepção e ela emite saída que gera ação. Os fundamentos subpessoais da mente são concebidos como verticalmente modulares com interface de cognição entre percepção e ação”¹⁷⁰ (Ibidem, 1998, p. 20, aspas do autor).

¹⁶⁹ Trecho original: “Cognition is not a matter of crunching symbolically or subsymbolically, but of interacting, of coupling. To understand a cognitive system we need to take as the unit of analysis the “system” embedded into its surrounding environment—a kind of interaction in analogy with the biological notions of species and habitat. [...] cognition involves understanding the coupled system as such, and not the mind/brain in itself”.

¹⁷⁰ Trecho original: “A view of perception and action as separate input and output systems complements a view of thought and cognition as “central” and in turn separate from the “peripheral” input and output systems. The virtual processing of cognition is seen as central, even if its implementation is distributed; input to it is provided by perception, and it issues output that generates action. The subpersonal underpinnings of the mind are conceived as vertically modular, with cognition interfacing between perception and action”.

A propósito, tal arranjo não corresponde a concepção virtual da mente sugerida pelo movimento da cognição incorporada, pois a mesma é intrínseca aos sistemas sensoriais e motores:

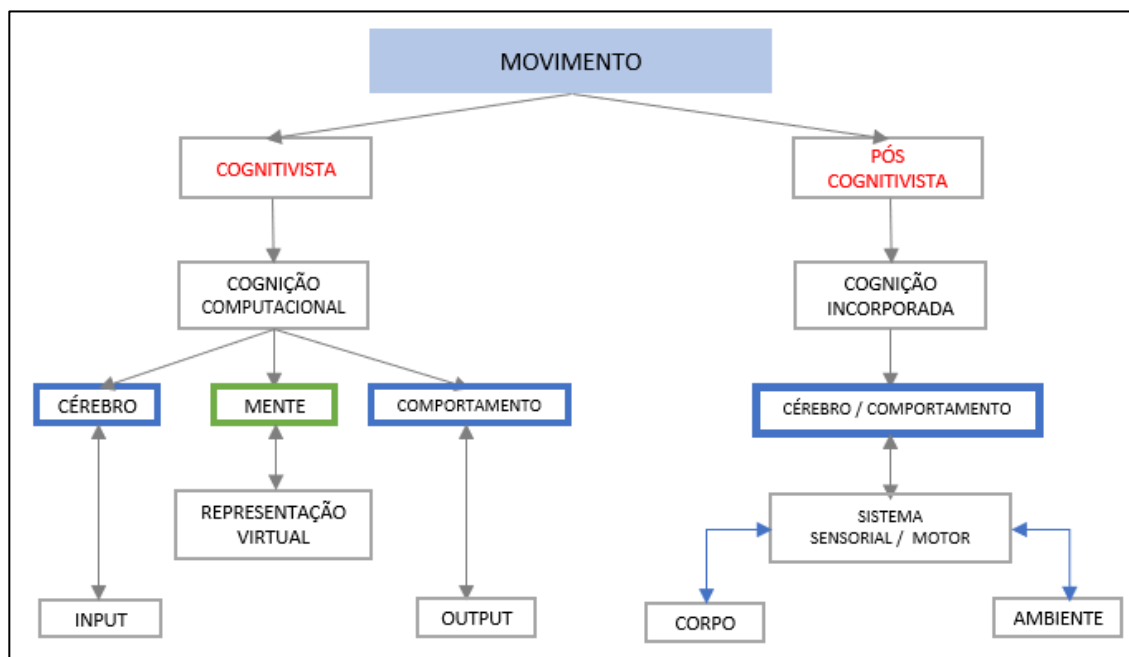
“No mínimo, todas essas abordagens [movimento incorporado] concebem a cognição e o comportamento em termos de interação dinâmica (acoplamento) de um sistema incorporado que é intrínseco ao ambiente circundante. Como resultado de sua natureza incorporada ao corpo, a cognição e o comportamento não podem ser explicados sem levar em conta o aparato perceptivo e motor que facilita o trato do agente com o mundo externo em primeiro lugar, e tentar fazê-lo equivale a levar também este mundo externo em conta. Isso se opõe diretamente ao já mencionado sanduíche cognitivo e outras formas de “solipsismo metodológico” (Fodor, 1980)”¹⁷¹ (Calvo e Gomilla, 2008, p. 7, parênteses e aspas do autor).

Elaboramos o seguinte esquema para ilustrar as hipóteses supracitadas.

¹⁷¹ Trecho original: “At a minimum, all these approaches conceive of cognition and behavior in terms of the dynamical interaction (coupling) of an embodied system that is embedded into the surrounding environment. As a result of their embodied-embedded nature, cognition and behavior cannot be accounted for without taking into account the perceptual and motor apparatus that facilitates the agent’s dealing with the external world in the first place, and to try to do so amounts to taking this external world also into account. This tells directly against the aforementioned cognitive sandwich and other forms of “methodological solipsism” (Fodor, 1980)”.

O solipsismo metodológico corresponde a uma estratégia de pesquisa da psicologia cognitiva que infere que o mundo externo pode ser conhecido apenas pelos estados psicológicos do sujeito. Tal conhecimento independente dos processos do corpo e dos estímulos do ambiente.

Figura 23 - Esquema geral do movimento cognitivista e pós-cognitivista.



Fonte: Produção do próprio autor. Do lado esquerdo temos o movimento cognitivista representado pela cognição computacional ilustrada pelos retângulos em azul (cérebro e comportamento) que representam as fatias do sanduíche que está recheado pelo retângulo em verde (mente). O cérebro realiza rotinas de processamento (*input* sensorial) oriundos do ambiente que são representados virtualmente pelas operações mentais que deliberam o comportamento (*output* motor). Segundo a concepção da cognição computacional, a organização estrutural e funcional da mente independe dos sistemas sensorial e motor. Do lado direito temos o movimento da cognição incorporada que argumenta em favor de uma interação dinâmica entre o cérebro/mente/comportamento, representado pelo retângulo azul que alude a uma unidade indissociável. A unidade abrange o sistema sensorial/motor que está acoplado ao corpo circundado pelo ambiente. Segundo a concepção da cognição incorporada, a organização estrutural e funcional da mente, assim como o comportamento está intimamente ligada as bases neurobiológicas dos sistemas sensoriais e motores.

Tendo em vista as hipóteses assumidas pelo movimento da cognição incorporada, Hickock, (2014, p. 294), levanta a seguinte questão: “[...] como o cérebro representa o conhecimento conceitual, os significados dos objetos, eventos e ações [?]”.¹⁷² Cabe esclarecer que o termo “conhecimento conceitual” aparece na literatura neurocientífica em especial nos trabalhos sobre a cognição incorporada como sinônimo de “semântica” ou “memória semântica” (Tranel et al., 2003). Reelaborando a questão anterior temos que a mente está incorporada no cérebro que é intrínseco ao corpo que está envolto pelo ambiente, sendo assim quais são os correlatos neurais do conhecimento semântico? Por exemplo, como a memória semântica de um martelo é processada segundo a

¹⁷² Trecho original: “[...] how the brain represents conceptual knowledge, the meanings of objects events, and actions”.

perspectiva neurobiológica da cognição incorporada? Segundo Hickock (2014, p. 297, aspas e parênteses do autor):

“Como um repórter em uma zona de guerra, os conceitos estão embutidos nas próprias operações sensório-motoras. E se os conceitos são fundamentalmente sensório-motores, então as operações “cognitivas” que envolvem esses conceitos (categorizar, fazer inferências, recordar) nada mais são do que reencenações de experiências sensório-motoras. Quando você pensa em martelos, diz a teoria, você simula suas experiências sensoriais e motoras com martelos; um tipo de pensamento físico em oposição ao pensamento lógico abstrato. Em suma, os conceitos são incorporados e a cognição é reduzida à simulação – sanduíche clássico desmontado”¹⁷³.

Nessa perspectiva, o cérebro simula através da imaginação a experiência vivenciada com o manuseio do martelo de forma que áreas visuo-espaciais em conjunto com circuitos sensório-motores e regiões temporais responsáveis pelo processamento auditivo estão ativas de modo que a imagética da ferramenta seja neurobiologicamente simulada. Nesse caso, a simulação ocorreu a partir de um evento interno, isto é, uma imagem mental. Segundo Gallese e Lakoff (2005, p. 456 -457) “[...] imaginar é uma forma de simulação – uma simulação mental de ação ou percepção, usando muitos dos mesmos neurônios que realmente agem ou percebem (Gallese, 2003a)”¹⁷⁴. Além do mais, “As teorias incorporadas da cognição propõem que a simulação é a base para a representação cognitiva (Barsalou, 1999; Jeannerod, 2001; Hesslow, 2002; Gallese & Lakoff, 2005)”¹⁷⁵ (Calvo e Gomilla, 2008, p. 293). Afinal, a imaginação visual de um movimento físico ativa áreas do cérebro que normalmente são recrutadas mediante a execução real do exercício:

¹⁷³ Trecho original: “Like a reporter in a war zone, concepts are embedded within the sensorimotor operations themselves. And if concepts are fundamentally sensorimotor, then “cognitive” operations involving those concepts (categorizing, making inferences, recall) are nothing more than reenactments of sensorimotor experiences. When you think about hammers, the theory goes, you simulate your sensory and motor experiences with hammers; a kind of physical thinking as opposed to abstract, logical thinking. In short, concepts are embodied and cognition is reduced to simulation—classical sandwich disassembled”.

¹⁷⁴ Trecho original: “[...] imagining is a form of simulation – a mental simulation of action or perception, using many of the same neurons as actually acting or perceiving (Gallese, 2003a)”.

¹⁷⁵ Trecho original: “Embodied theories of cognition propose that simulation is the basis for cognitive representation (Barsalou, 1999; Jeannerod, 2001; Hesslow, 2002; Gallese & Lakoff, 2005)”.

“Assim como as imagens visuais, as imagens motoras também compartilham muitos recursos com suas contrapartes reais (Jeannerod 1994). Ensaiar mentalmente um exercício físico induz um aumento de força muscular comparável ao obtido por um exercício real (Decety et al. 1989; Yue & Cole 1992). Quando nos engajamos em imaginar realizando uma determinada ação, vários parâmetros corporais se comportam de maneira semelhante a quando realmente realizamos a mesma ação. Decety et al. (1991) mostraram que os batimentos cardíacos e a frequência respiratória aumentam durante a imagética motora do exercício físico. Além disso, como no exercício físico real, aumentam linearmente com o aumento do esforço imaginado. Finalmente, experimentos de imagem cerebral mostraram que a imagem motora e a ação real ativam uma rede comum de centros motores cerebrais, como o córtex motor primário, o córtex pré-motor, o SMA [área motora suplementar], os gânglios da base e o cerebelo (Roland et al., 1980; Fox et al., 1987; Decety et al., 1990; Parsons et al., 1995; Porro et al., 1996; Roth et al., 1996; Schnitzler et al., 1997)”¹⁷⁶ (Gallese, 2003, p. 522).

É importante mencionar que a simulação também pode ocorrer a partir da percepção de um acontecimento externo. Por exemplo, a visualização de uma ação realizada por outro indivíduo propicia ao cérebro do observador simular o mesmo evento. A propósito, vale lembrar que os NE são ativados durante a realização ou observação de uma ação, ou seja, a visualização de uma atividade excita os NE a simular o mesmo episódio. A correspondência entre o espelhamento funcional do circuito de NE no córtex do observador e do agente sugere que “[...] este mecanismo poderia estar na base de uma forma implícita de compreensão da ação (Gallese et al., 1996, 2002a,b; Rizzolatti et al., 1996a;

¹⁷⁶ Trecho original: “As with visual imagery, motor imagery also shares many features with its actual counterpart (Jeannerod 1994). Mentally rehearsing a physical exercise induces an increase of muscle strength comparable to that attained by a real exercise (Decety et al. 1989; Yue & Cole 1992). When we engage in imagining performing a given action, several bodily parameters behave similarly to when we actually carry out the same action. Decety et al. (1991) have shown that heartbeat and breathing frequency increase during motor imagery of physical exercise. Furthermore, as with real physical exercise, they increase linearly with the increase of the imagined effort. Finally, brain imaging experiments have shown that motor imagery and real action both activate a common network of brain motor centres such as the primary motor cortex, premotor cortex, the SMA, the basal ganglia and the cerebellum (Roland et al. 1980; Fox et al. 1987; Decety et al. 1990; Parsons et al. 1995; Porro et al. 1996; Roth et al. 1996; Schnitzler et al. 1997)”.

Gallese 2000a, 2003b)¹⁷⁷ (Ibidem, 2003, p. 522). Nessa perspectiva, o substrato neurobiológico da simulação da ação e sua compreensão estão correlacionados aos NE localizados na área F5 no córtex pré-motor de símios que disparam quando o animal vê toda uma ação como agarrar um objeto com a mão e quando o mesmo era impedido de visualizar a parte final da mesma ação (Umiltà et al., 2001). Desse modo, o símio “compreendia” o sentido da ação a partir do repertório de esquemas sensório motores recrutados na simulação. Segundo Gallese (2003, p. 518) “A informação visual sobre o comportamento observado é traduzida em comandos motores para reproduzi-lo”¹⁷⁸. Afinal, é importante ressaltar que o sentido de uma ação, ou melhor, as possibilidades de interação entre um agente e um objeto é processado pelo cérebro do símio de modo automático ou como sugerido pelo grupo de Parma sem autoconsciência. Sendo assim, é relevante citar que:

“O processo de simulação [...] é automático, inconsciente e pré-reflexivo. Além disso, defendo que a simulação não é uma prerrogativa do sistema motor. Em outras palavras, a simulação não se limita apenas às estratégias de controle executivo que presidem nosso funcionamento no mundo, mas é um mecanismo funcional básico, usado por vastas partes do cérebro”¹⁷⁹ (Gallese, 2003, p. 521).

Resumindo as inferências anteriores podemos compreender a ideia geral da seguinte forma. A imagem mental e a percepção visual de uma ação são tipos de simulação que diferem ligeiramente no padrão de atividade cerebral. A diferença principal está ligada a fonte do estímulo que por um lado é interna (deliberada, voluntária) e por outro externa (imediate, automática). O fato de o cérebro simular uma determinada ação pela via da imaginação ou pela visualização de uma cena permite inferir o objetivo/sentido da ação, mesmo quando a informação está incompleta. Dizendo de outro modo, a simulação possibilita prever as consequências de uma ação, assim como antecipar o

¹⁷⁷ Trecho original: “[...] this mechanism could be at the basis of an implicit form of action understanding (Gallese et al. 1996, 2002a, b; Rizzolatti et al. 1996a; Gallese 2000a, 2003b)”.

¹⁷⁸ Trecho original: “The visual information about the observed behaviour is translated into motor commands for reproducing it”.

¹⁷⁹ Trecho original: “The simulation process [...] is instead automatic, unconscious and pre-reflexive. Furthermore, I argue that simulation is not a prerogative of the motor system. In other words, simulation is not just confined to the executive control strategies presiding over our functioning in the world, but is a basic functional mechanism, used by vast parts of the brain”.

resultado de uma experiência sensorial. Tais previsões, inferências, antecipações ou compreensão das possibilidades de interação entre um gesto e um objeto ou entre um agente e um artefato ocorre a partir da simulação automática. Ou seja, acontece de modo natural, como uma espécie de espelhamento entre os mesmos circuitos neurais ativados no córtex cerebral tanto do observador quanto do agente. Afinal, para que se possa compreender o que o outro está fazendo, ou melhor dizendo, o sentido do comportamento alheio, é preciso dispor no próprio repertório sensorio-motor a representação de uma experiência semelhante.

Além da representação imagética e do estímulo visual desencadearem uma determinada simulação neurobiológica que propicia as possibilidades de sentido entre uma ação e um objeto, é importante mencionar que um estímulo sonoro também pode incitar o cérebro do ouvinte a simular o sentido semântico de uma ação ou gesto. Por exemplo, ao ouvir o som de uma campainha é possível inferir que alguém está esperando em frente a porta. Ou seja, a percepção acústica emitida por uma ação permite deduzir, compreender ou prever seu sentido. Vale lembrar dos NE audiovisuais que disparam mediante a codificação de sinais acústicos específicos, como o som de uma folha de papel rasgando (Kohler et al., 2002, 2001). De modo geral, os NE multimodais descarregam quando o símio realiza uma ação, tanto quando visualiza uma cena ou apenas ouve o som da mesma. Esse mecanismo funcional dos NE audiovisuais permite ao animal reconhecer o sentido de uma ação com base no som. Ou seja, o repertório sensorio-motor simula a ação a partir do som. Em outras palavras, o som possui sua representação em uma contraparte motora.

“A simulação multimodal de objetivos de ação instanciados por neurônios situados no córtex pré-motor ventral do macaco instancia propriedades que são surpreendentemente semelhantes às propriedades simbólicas tão características do pensamento humano. A semelhança com o conteúdo conceitual é bastante atraente: o mesmo conteúdo conceitual (“o objetivo da ação A”) resulta de uma multiplicidade de estados que o englobam: sons, ações observadas e executadas. Esses estados, por sua vez, são subsumidos por padrões de ativação diferentemente desencadeados dentro de uma população

de “neurônios-espelho audiovisuais”¹⁸⁰ (Gallese, 2003, p. 523 aspas e parênteses do autor).

Como mencionado anteriormente o córtex pré-motor ou as áreas motoras no geral são tradicionalmente consideradas regiões que desempenham um papel passivo no controle e planejamento motor. No entanto, evidências neurocientíficas vem comprovando que se trata de sítios corticais com características multimodais. Os NE audiovisuais ilustram como outras modalidades, no caso a informação visual e auditiva são codificadas na área pré-motora. Ou seja, “[...] não existem “áreas de associação” puras cujo único trabalho é ligar áreas cerebrais supostamente separadas (ou “módulos”) para modalidades sensoriais distintas”¹⁸¹ (Gallese e Lakoff, 2005, p. 459, aspas e parênteses do autor). Essa afirmativa condiz com o movimento da cognição incorporada que assume que os substratos neurobiológicos dos sistemas sensoriais e motores participam ativamente dos processos cognitivos. Tal perspectiva contrasta com a noção recorrente de que as informações sensório-motoras são integradas em um nível “mais alto”, ou seja, são agrupados em uma área de associação. Afinal, cabe esclarecer a distinção entre multimodalidade e supramodalidade:

“[a supramodalidade] assume-se que existem modalidades distintas caracterizadas separadamente em diferentes partes do cérebro e que estas só podem ser reunidas através de “áreas de associação” que de alguma forma integram as informações das distintas modalidades. Afirmar que uma ação como agarrar é “supramodal” é dizer que ela se caracteriza em uma área de associação distinta e diferente do sistema sensório-motor que integra informações do sistema motor com informações de modalidades sensoriais. A questão é que qualquer coisa supramodal usa informações provenientes de áreas especializadas para modalidades distintas individuais, mas não está

¹⁸⁰ Trecho original: “The multimodal-driven simulation of action goals instantiated by neurons situated in the ventral premotor cortex of the monkey instantiates properties that are strikingly similar to the symbolic properties so characteristic of human thought. The similarity to conceptual content is quite appealing: the same conceptual content (“the goal of action A”) results from a multiplicity of states subsuming it: sounds, observed and executed actions. These states, in turn, are subsumed by differently triggered patterns of activations within a population of “audio-visual mirror neurons”.

¹⁸¹ Trecho original: “[...] there are no pure “association areas” whose only job is to link supposedly separate brain areas (or “modules”) for distinct sensory modalities”.

envolvida nas modalidades distintas individuais”¹⁸² (Ibidem, 2005, p. 459, aspas do autor).

De modo geral, tanto a simulação quanto a realização de uma ação como agarrar um objeto é multimodal. A justificativa está embasada nos substratos neurais recrutados tanto para a ação quanto para a percepção que são integrados na mesma estrutura morfológica, no caso os NE multimodais localizados no córtex pré-motor. Sendo assim, a codificação de informações visuais, motoras ou auditivas independe do processamento de áreas de associação superior. Afinal, “A multimodalidade nega a existência de tais módulos separados”¹⁸³ (Ibidem, 2005, p. 459). Para ilustrar como a simulação incorporada pelos NE audiovisual recrutam diferentes modalidades mediante o mesmo estímulo externo, porém empregado em diferentes contextos vale citar o seguinte trecho:

“A simulação de ação incorporada pelos neurônios-espelho audiovisual é de fato semelhante ao uso de predicados: o verbo “quebrar” é usado para transmitir um significado que pode ser usado em diferentes contextos: “Vendo alguém quebrando um amendoim”, “Ouvindo alguém quebrando um amendoim”, “Quebrando um amendoim”. O predicado, assim como as respostas nos neurônios-espelho audiovisuais não muda dependendo do contexto ao qual se aplica, nem depende do sujeito/agente que realiza a ação. Tudo o que muda é o contexto ao qual o predicado se refere”¹⁸⁴ (Ibidem, 2003, p. 523, aspas do autor).

Nessa perspectiva, o som da palavra quebrar é simulado pelo circuito de NE de forma semelhante, mesmo que o estímulo esteja ocorrendo em diferentes

¹⁸² Trecho original: “It is assumed that there are distinct modalities characterised separately in different parts of the brain and that these can only be brought together via “association areas” that somehow integrate the information from the distinct modalities. To claim that an action like grasping is “supramodal” is to say that it is characterised in an association area, distinct and different from the sensory-motor system, which integrates information from the motor system with information from sensory modalities. The point is that anything supramodal uses information coming from areas specialised for individual distinct modalities, but is not itself involved in the individual distinct modalities”.

¹⁸³ Trecho original: “Multimodality denies the existence of such separate modules”.

¹⁸⁴ Trecho original: “The action simulation embodied by audio-visual mirror neurons is indeed similar to the use of predicates: the verb “to break” is used to convey a meaning that can be used in different contexts: “Seeing someone breaking a peanut”, “Hearing someone breaking a peanut”, “Breaking a peanut”. The predicate, similarly to the responses in audio-visual mirror neurons, does not change depending on the context to which it applies, nor depending on the subject/agent performing the action. All that changes is the context the predicate refers to”.

contextos. Portanto, não importa se a folha de papel foi rasgada por outro macaco, por um humano ou uma mão mecânica. Melhor dizendo, não faz diferença se o som da palavra quebrar aparece em diferentes contextos, pois a simulação da ação mediada pelo som será similar. Além do mais, essa repetição funcional por parte dos NE tende a consolidar a memória da simulação provocada pelo estímulo que viabiliza de modo automático o sentido da ação mediado pelo som. Afinal, é oportuno citar que “[...] as teorias incorporadas da representação semântica focam no conteúdo semântico, em vez da estrutura do sistema semântico como um todo”¹⁸⁵ (Calvo e Gomilla, 2008, p. 293). Por falar nisso:

“Assume-se que a simulação usa os mesmos sistemas sensório-motores que são engajados durante a experiência real; quando este princípio é aplicado à representação do significado linguístico (semântica), as teorias propõem que o conteúdo semântico é alcançado pela recriação, geralmente de forma mais fraca da informação sensorial e motora produzida quando o referente de uma palavra ou sentença é realmente vivenciado. As simulações são específicas de conteúdo; por exemplo, palavras que se referem ao movimento, como subir e descer, são pensadas para recrutar sistemas sensoriais envolvidos na percepção do movimento, e palavras que se referem a ações motoras, como chutar e andar, são pensadas para recrutar os sistemas motores usados para essas ações”¹⁸⁶ (Ibidem, 2008, p. 293, parenteses do autor).

Do mesmo modo que a simulação de uma ação ocorre de modo inconsciente, isto é, sem a interferência de operações cognitivas, Pulvermüller e colaboradores (2005), sugerem que a ativação do sistema motor durante o processamento conceitual é rápida, automática e somatotópica. Segundo os trabalhos realizados por Pulvermüller (2005), e Boulenger e colaboradores

¹⁸⁵ Trecho original: “[...] embodied theories of semantic representation focus on semantic content, rather than the structure of the semantic system as a whole”.

¹⁸⁶ Trecho original: “Simulation is assumed to use the same sensory–motor systems that are engaged during real experience; when this principle is applied to the representation of linguistic meaning (semantics) theories propose that semantic content is achieved by recreating, usually in weaker form, the sensory and motor information produced when the referent of a word or sentence is actually experienced. Simulations are content-specific; for example, words referring to motion, such as rise and fall, are thought to recruit sensory systems involved in perceiving motion, and words referring to motor actions, such as kick and walk, are thought to recruit the motor systems used for those actions”.

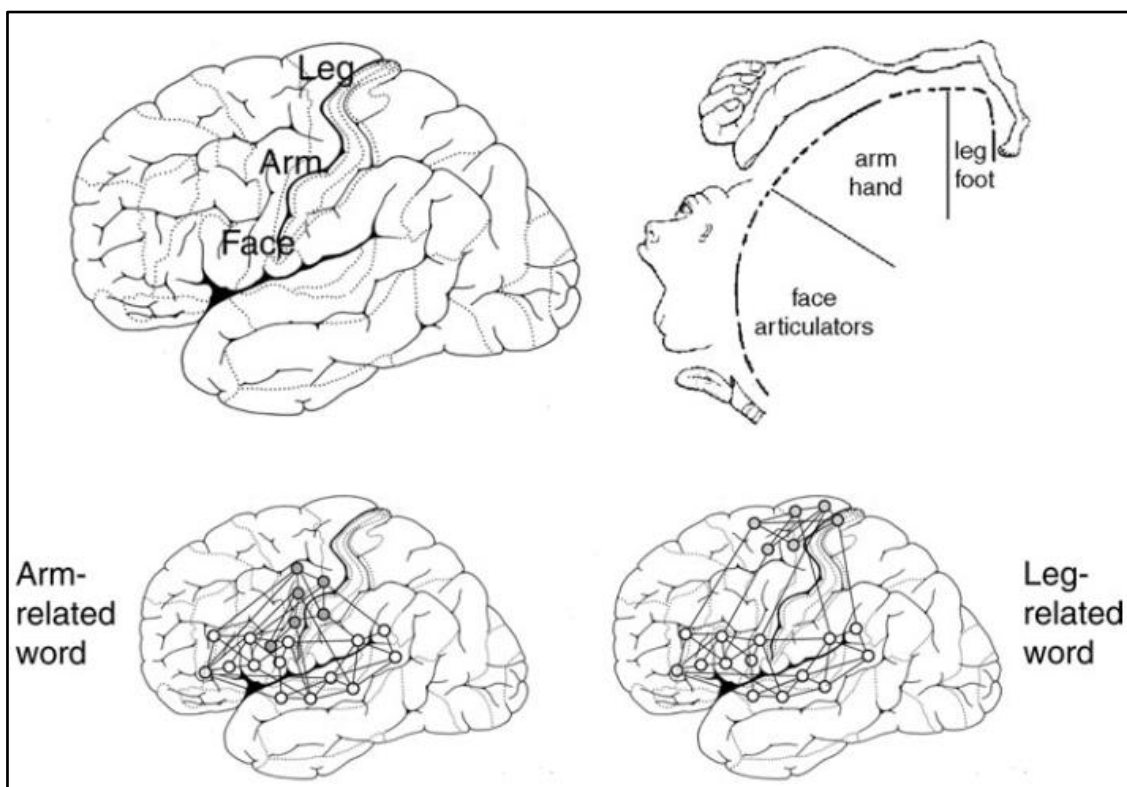
(2006), o sistema motor é ativado cerca de 200ms após a percepção da palavra. No entanto, é preciso esclarecer quais processos estão ocorrendo. Por exemplo:

“Considere a situação em que os participantes recebem a palavra ‘chute’ e dentro de 200 ms, a região da ‘perna’ no sistema motor é ativada. As quatro possibilidades são: (1) a palavra ‘chutar’ ativa diretamente o sistema motor sem acesso intermediário ao conteúdo conceitual abstrato; (2) a palavra ‘chute’ ativa diretamente o sistema motor e em paralelo ativa o conteúdo conceitual abstrato; (3) a palavra ‘chute’ ativa diretamente o sistema motor e em seguida ativa uma representação conceitual abstrata; e, finalmente, (4) a palavra ‘chute’ ativa uma representação conceitual abstrata e então ativa o sistema motor”¹⁸⁷ (Mahon e Caramazza, 2008, p. 61, aspas simples do autor).

Em poucas palavras, é necessário distinguir o tempo de processamento do sentido incarnado e desencarnado. Este é um ponto delicado, uma vez que estamos na fronteira entre o objetivo (organização estrutural e funcional do sistema motor), e subjetivo (a semântica mental). Em relação a automaticidade da ativação do sistema motor está a hipótese de que o processamento conceitual e/ou perceptivo se espalha automaticamente pelas topografias corticais. Ou seja, a modulação de redes neurais revela ser sensível a mecanismos inconscientes de iniciação automática, isto é, uma descarga de potencial de ação desencadeia uma ativação em cascata em múltiplos circuitos neurais que tendenciam o processamento conceitual que subjaz a percepção consciente (Kiefer, 2002). Afinal, o sistema motor é acionado somatotopicamente quando um conteúdo semântico ou perceptivo está correlacionado com ações corporais como morder, chutar ou pegar (Hauk et al., 2004).

¹⁸⁷ Trecho original: “Consider the situation in which participants are presented with the word ‘kick’ and within 200 ms, the ‘leg’ region of the motor system is activated. The four possibilities are: (1) the word ‘kick’ directly activates the motor system, with no intervening access to abstract conceptual content; (2) the word ‘kick’ directly activates the motor system and in parallel activates abstract conceptual content; (3) the word ‘kick’ directly activates the motor system and then subsequently activates an abstract conceptual representation; and finally, (4) the word ‘kick’ activates an abstract conceptual representation and then activates the motor system”.

Figura 24 - Organização somatotópica do córtex motor e redes semânticas.



Fonte: Pulvermüller et al., (2005, p. 796). Ambas imagens na faixa horizontal superior ilustram a distribuição somatotópica do córtex motor segundo Penfield e Rasmussen (1950). A imagem no canto esquerdo inferior mostra as redes topográficas no lado esquerdo do córtex cerebral que perpassam pelas áreas perisylvianas, juntamente com as áreas motoras e pré-motoras que configuram a representação semântica da palavra braço. No canto inferior direito está a representação do mapa semântico que corresponde ao processamento da palavra perna. Os círculos correspondem a populações de células neurais e as linhas que as conectam as redes de axônios aferentes e eferentes.

É interessante mencionar do ponto de vista histórico que a representação semântica de entidades linguísticas representadas neurobiologicamente foi proposta no século XIX pelo neuroanatomista Carl Wernicke (Gage e Hickok, 2005).

“O conceito da palavra “sino”, por exemplo, é formado pelas imagens de memória associadas às percepções visuais, táteis e auditivas. Essas imagens de memória representam os traços característicos essenciais do objeto sino”¹⁸⁸ (Wernicke, 1874/1977, p. 117, apud Gage e Hickok, 2005, p. 824, aspas do autor).

Além disso, o médico alemão sugere que:

¹⁸⁸ Trecho original: “The concept of the word “bell”, for example, is formed by the associated memory images of visual, tactual and auditory perceptions. These memory images represent the essential characteristic features of the object, bell”.

“[...] ... as imagens de memória de um sino ... são depositadas no córtex e localizadas de acordo com os órgãos sensoriais. Estas incluiriam, então, as imagens acústicas despertadas pelo som do sino, as imagens visuais estabelecidas por meio da forma e da cor, as imagens táteis adquiridas pela sensação cutânea e finalmente, as imagens motoras obtidas pelos movimentos exploratórios dos dedos e dos olhos”¹⁸⁹ (Wernicke, 1885-1886/1977, p. 179, apud Ibidem, 2005, p. 824-825, reticências do autor).

Ao refletir sobre como os diferentes atributos do sino são associados e agrupados para formar um conceito unitário, Wernicke explica que:

“[...] as redes associativas [de traços de memória subjacentes à representação conceitual] foram estabelecidas como resultado da experiência e que, uma vez estabelecidas, a ativação parcial da rede poderia desencadear a ativação de toda a unidade funcional correspondente a um determinado conceito: A associação estreita entre essas várias imagens de memória foi estabelecida por repetidas experiências das características essenciais dos sinos. Como resultado final, o despertar de cada imagem individual é adequado para despertar o conceito como um todo. Desta forma, uma unidade funcional é alcançada. Tais unidades formam o conceito de objeto, neste caso um sino”¹⁹⁰ (Wernicke, 1885-1886/1977, p. 179, apud ibidem, 2005, p. 825).

Nessa perspectiva, a disposição da memória semântica está organizada estruturalmente e funcionalmente em redes neurais distribuídas por todo o córtex de forma que são ativadas a partir de conteúdos associativos. Desse modo, Wernicke sugeriu que os conceitos não estão restritos a uma área do córtex, ou seja, não existe um centro conceitual. Portanto, “[...] sua robusta visão era que o conhecimento conceitual no cérebro não era localizável em um centro, mas

¹⁸⁹ Trecho original: “[...] ... the memory images of a bell ... are deposited in the cortex and located according to the sensory organs. These would then include the acoustic imagery aroused by the sound of the bell, visual imagery established by means of form and color, tactile imagery acquired by cutaneous sensation, and finally, motor imagery gained by exploratory movements of the fingers and eyes”.

¹⁹⁰ Trecho original: “[...] associative networks were established as a result of experience, and that once established, partial activation of the network could trigger activation of the entire functional unit corresponding to a given concept: Close association between these various memory images has been established by repeated experience of the essential features of bells. As a final result, arousal of each individual image is adequate for awakening the concept as a whole. In this way a functional unit is achieved. Such units form the concept of the object, in this case a bell”.

amplamente distribuído por todo o córtex”¹⁹¹ (Gage e Hickok, 2005, p. 830). No entanto, é importante mencionar que traços específicos de memória são localizáveis em campos sensoriais e motores envolvidos no processamento inicial da formação de conceitos. Quer dizer, o sentido de um código acústico da fala perpassa por diferentes circuitos neurais que medeiam a representação semântica da palavra de modo automático, isto é, não requer uma elaboração cognitiva. A propósito do processamento semântico local e distribuído, reproduzimos o seguinte trecho:

“[...] a partir de pesquisas nas décadas de 1970 e 1980. Uma evidência-chave veio da descoberta de que um dano cerebral pode prejudicar o conhecimento conceitual em uma categoria (por exemplo, FERRAMENTAS) enquanto deixa outra categoria (por exemplo, ANIMAIS) relativamente inalterada e ainda que as regiões do cérebro envolvidas em causar esses déficits incluíam áreas sensoriais e motoras. Isso sugeriu que o conhecimento conceitual não está completamente ensanduichado entre sistemas sensoriais e motores, mas, em vez disso, está de alguma forma ligado a esses circuitos”¹⁹² (Hickock, 2014, p. 296, parênteses do autor).

Aliás, Warrington e Shallice (1984), constataram que pacientes com encefalite por herpes simples apresentam comprometimentos específicos da informação semântica de categorias visuais e verbais que são processadas separadamente. Os autores sugerem que a distinção visual entre um morango e uma framboesa requer o processamento sensorial da cor, forma, tamanho e textura. Logo, uma lesão específica pode comprometer a categoria visual da qual o alimento se enquadra, assim como sua classificação verbal. Além disso, a diferença entre um pote, um jarro e um vaso perpassa pelo processamento de características sensoriais, porém seus atributos funcionais contribuem de forma objetiva para sua categorização verbal. Afinal, Warrington e Shallice (1984), presumem a existência de dois sistemas semânticos separados, constatando

¹⁹¹ Trecho original: “[...] his strong view was that conceptual knowledge in the brain was not localizable to a center but was widely distributed throughout córtex”.

¹⁹² Trecho original: “[...] An alternative to this approach began to emerge from research in the 1970s and 1980s. One key piece of evidence came from the discovery that brain damage could impair conceptual knowledge in one category (e.g., TOOLS) while leaving another category (e.g., ANIMALS) relatively unaffected and further that the brain regions involved in causing these deficits included sensory and motor areas. This suggested that conceptual knowledge is not completely sandwiched between sensory and motor systems but instead is somehow tied into those circuits”.

com a sugestão de Geschwind (1965), de que existe um único sistema semântico (um centro conceitual), que pode ser desconectado dos sistemas perceptivos de nível inferior (sensório-motor).

“Nos últimos 10-15 anos, [...] o estudo clínico e experimental detalhado de pacientes individuais mostrou de forma convincente não apenas que diferentes categorias de conhecimento podem ser seletivamente interrompidas por danos cerebrais, mas também que o comprometimento preferencial de uma determinada categoria semântica geralmente implica danos a uma parte bem definida do cérebro”¹⁹³ (Gainotti et al., 1995, p. 248).

Tais achados foram embasados por experimentos que revelaram a existência estrutural e funcional de diferentes sistemas semânticos que permeiam o cérebro. Dentre as modalidades observadas vale mencionar a separação entre as seguintes classes de palavras: palavras abstratas e concretas (Shallice 1988; Warrington, 1975); nome próprio de pessoas e nomes de ação ou de objeto (Baxter e Warrington, 1985 Damásio e Tranel, 1993). Além da separação entre categorias de palavras foi constatado a discrepância estrutural e funcional entre domínios semânticos específicos, por exemplo: a categoria de seres vivos e alimentos (Basso et al., 1988; Warrington e Shallice, 1984); objetos inanimados e artefatos feitos pelo homem (Berhmann e Lieberthal, 1989; Warrington e McCarthy, 1983); além de artefatos construídos pelo homem e partes do corpo (Sacchett e Humphreys, 1992; Hillis et al., 1990). Afinal, a dicotomia vivo e morto indica que certos atributos perceptivos e funcionais apresentam pesos diferentes no processamento de categorizações semânticas.

“No caso de seres vivos, a identificação de um membro da categoria pode depender criticamente de características visuais, como o aspecto liso, listrado ou manchado da pele que permite distinguir um leão de um tigre ou de um leopardo. No caso de artefatos feitos pelo homem, ao contrário, a identificação de um membro da categoria depende crucialmente de atributos funcionais, ou seja, as sutilezas das

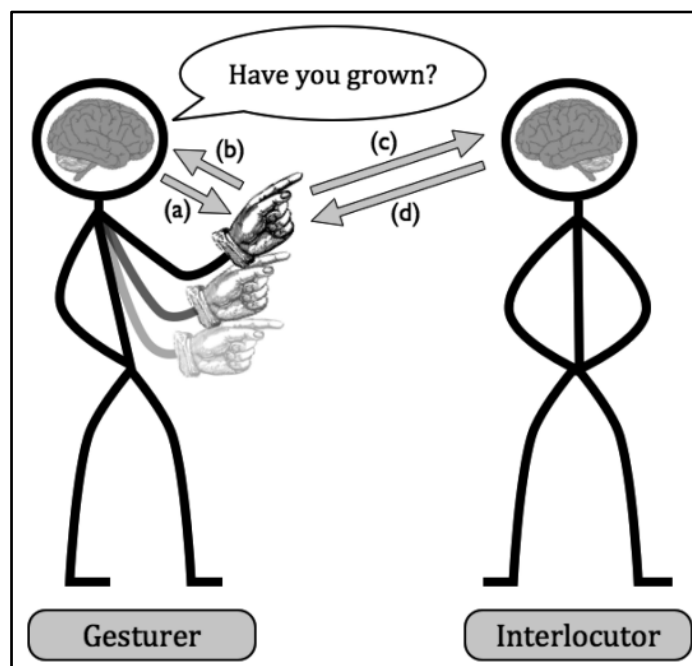
¹⁹³ Trecho original: “In the last 10-15 years, [...] the detailed clinical and experimental study of individual patients has convincingly shown not only that different categories of knowledge can be selectively disrupted by brain damage, but also that the preferential impairment of a given semantic category usually implicates damage to a well-defined part of the brain”.

diferentes funções para as quais eles foram construídos”¹⁹⁴ (Gainotti et al., 1995, p. 256).

Sumarizando as inferências concluímos que o arranjo estrutural e funcional dos sistemas semânticos representados neurobiologicamente condizem com a natureza morfofuncional do cérebro e suas partes que se comunicam de modo hierárquico em vias ascendentes, descendentes e paralelas. Além disso, uma lesão em uma determinada área sensorial ou motora pode levar a disfunções do processamento semântico. Por exemplo, ao imaginar o movimento de chutar uma bola, o cérebro deve recrutar as áreas visuais e motoras. No entanto, se a área motora estiver lesionada, a representação mental do movimento das pernas pode ficar comprometido. Além disso, a identificação linguística do movimento se torna confusa, quer dizer, o paciente pode trocar a palavra chutar por outra. Cabe acrescentar que o sentido semântico de uma palavra cujo o referencial seja o sistema visual, como a palavra azul, pode ser comprometido caso haja uma lesão em áreas visuais (Vigliocco et al., 2006). Aliás, um experimento utilizando técnica de neuroimagem constatou que palavras relacionadas ao paladar, como sal, ativam áreas do córtex gustativo quando os participantes faziam a leitura da palavra (Barros-Loscertales et al., 2012). Além dos substratos neurobiológicos da semântica sensorial, vale mencionar que palavras que se referem a emoções como raiva ou alegria também podem ser funcionalmente prejudicadas caso haja uma lesão em estruturas límbicas (Schumann 1990, 1997). Sendo assim, podemos inferir que os conceitos linguísticos são multimodais e que seu processamento no nível neurobiológico reflete a organização estrutural e funcional do cérebro. Logo, o conteúdo das palavras é simulado por diferentes áreas e circuitos neurais que acabam formando uma percepção aparentemente sem cortes, ou seja, uma simulação multimodal (Barsalou, 2009).

¹⁹⁴ Trecho original: “In the case of living beings, identification of a category member may critically depend on visual features, such as the plain, striped, or spotted aspect of the skin which allows one to distinguish a lion from a tiger or from a leopard. In the case of man-made artefacts, on the contrary, identification of a category member crucially relies on functional attributes, i.e. the subtly different functions for which they were constructed”.

Figura 25 - Simuladores perceptivos.



Fonte: Marghetis e Bergen, (2014, p. 158). A simulação do falante atua sobre o gesto do próprio falante (a); o gesto do mesmo falante influencia sua simulação (b), e a simulação do ouvinte (c); a simulação do ouvinte molda sua interpretação sobre o gesto do falante (d).

É curioso notar que o modelo da semântica incorporada proposta por Wernick se assemelha as hipóteses apresentadas em trabalhos contemporâneos.

“Uma visão contemporânea de como o conhecimento conceitual para entidades concretas é representado no cérebro inclui quatro ideias centrais: i) a representação neural do conhecimento conceitual é amplamente distribuída por todo o córtex cerebral; ii) as representações envolvem os mesmos sistemas sensoriais, motores e corticais supramodais originalmente invocados no processamento daquela informação; iii) associações transmodais dinâmicas subjacentes à interconectividade funcional ou vinculação de representações distribuídas são mediadas por gateways ou “zonas de convergência” no córtex multimodal; iv) a ligação integrativa da informação distribuída é provavelmente alcançada através da sincronização de padrões de disparo de conjuntos neurais (Damasio, 1989; Damasio e Damasio, 1994; Mesulam, 1998; Singer, 1995; Squire, 1986)”¹⁹⁵ (Gage e Hickok, 2005, p. 823, aspas do autor).

¹⁹⁵ Trecho original: “A contemporary view of how conceptual knowledge for concrete entities is represented in the brain includes four central ideas: i) the neural representation of conceptual knowledge is widely distributed throughout the cerebral cortex; ii) the representations involve the

A observação (i) da citação remete a concepção de Wernicke de que não existe um único centro conceitual no cérebro. O segundo ponto também é semelhante, assim como a terceira ideia (iii), da qual diferem basicamente em sua nomenclatura. Nesse caso as “zonas de convergência” na terminologia de Damásio (1989), correspondem a áreas supramodais, isto é, regiões cerebrais que recebem, agrupam e emitem informações advindas de diferentes redes neurais. Aliás, Wernicke parece ter previsto a visão moderna de “zonas de convergência”, ao propor a existência de “áreas de passagem” ou “sistema intermediário”. Ao constatar a organização estrutural e funcional dessas áreas Wernicke menciona que “A área parietal, situada entre os lobos temporal e occipital, representa uma passagem para a transferência de processos ainda pouco claros”¹⁹⁶ (Wernicke, 1874/1977, p. 92, apud Gage e Hickok, 2005, p. 827). Curiosamente, a quarta e última ideia (iv) remete a teoria hebbiana das regras de aprendizagem cortical proposta por Donald Olding Hebb¹⁹⁷, que sugeriu a existência de mecanismos neurobiológicos que viabilizam a formação de topografias corticais com base na dinâmica das atividades de conjuntos celulares. O trabalho de Hebb ficou popularmente conhecido no âmbito neurocientífico pela citação de que neurônios que disparam juntos permanecem juntos (Hebb, 1949).

“A idéia geral é antiga, de que quaisquer duas células ou sistemas de células que estejam repetidamente ativas ao mesmo tempo tenderão a se "associar", de modo que a atividade de uma facilita a atividade da outra”¹⁹⁸ (Hebb, 1949, p. 70, aspas do autor).

Quer dizer, a integração de informações codificadas em diferentes sítios corticais ocorre por meio da sincronização de disparos de potencial de ação que compõem um padrão espaço temporal das atividades neurais emitidas por

same sensory, motor, and supramodal cortical systems originally invoked in processing that information; iii) dynamic transmodal associations underlying the functional interconnectivity or binding of distributed representations are mediated by gateways or “convergence zones” in multimodal cortex; iv) integrative binding of the distributed information is likely achieved through synchronization of firing patterns of neural ensembles (Damasio, 1989; Damasio and Damasio, 1994; Mesulam, 1998; Singer, 1995; Squire, 1986)”.

¹⁹⁶ Trecho original: “The parietal area, lying between (temporal and occipital lobes) represents a passageway for the transfer of processes which are still unclear”.

¹⁹⁷ Donald Olding Hebb, nascido em 1904, falecido em 1985.

¹⁹⁸ Trecho original: “The general idea is an old one, that any two cells or systems of cells that are repeatedly active at the same time will tend to become "associated," so that activity in one facilitates activity in the other”.

múltiplos conjuntos celulares. A teoria da organização morfofuncional dos circuitos neurais proposto por Hebb pode ser uma alternativa às abordagens localizacionista e holística. Se por um lado os localizacionistas inferem que áreas específicas do córtex cerebral são responsáveis por realizar determinadas operações cognitivas, por outro, a abordagem holística sugere que as faculdades cognitivas ou a cognição em geral, emerge da totalidade da organização estrutural e funcional do encéfalo e suas partes. No entanto:

“A proposta hebbiana está em nítido contraste com essas duas visões. Supõe-se que os conjuntos de células com topografias corticais definidas formam as representações neurobiológicas de elementos cognitivos, como figuras ou palavras semelhantes à gestalt. Essa posição é radicalmente diferente de uma abordagem localizacionista, porque assume que neurônios em diferentes áreas corticais podem fazer parte de uma mesma unidade funcional distribuída. A visão hebbiana também é diferente da visão holística de que “tudo está igualmente distribuído”, porque implica que a representação de uma imagem pode envolver áreas corticais inteiramente diferentes daquelas que contribuem para a representação de, digamos, um odor. Assim, a representação de uma palavra não estaria restrita a um pequeno locus cortical, mas estaria distribuída em áreas bem definidas, por exemplo, nas áreas de Broca, Wernicke e algumas outras”¹⁹⁹ (Pulvemüller, 1999, p. 254, aspas do autor).

Também é curioso notar que o modelo de Wernicke parece ter previsto o pressuposto de Hebb. Basta lembrar do exemplo das associações entre as imagens da memória de um sino, que ao serem agrupadas (disparos sincronizados entre diferentes sítios corticais), formavam o conceito do objeto. Aliás, Pulvermüller (1999, 2001), salienta a hipótese de que a aprendizagem

¹⁹⁹ Trecho original: “The Hebbian proposal is in sharp contrast to both of these views. Cell assemblies with defined cortical topographies are assumed to form the neurobiological representations of cognitive elements such as gestalt-like figures or words. This position is radically different from a localizationist approach, because it assumes that neurons in different cortical areas may be part of the same distributed functional unit. The Hebbian viewpoint is also different from the holistic view that “everything is equally distributed,” because it implies that the representation of, for example, an image may involve cortical areas entirely different from those contributing to the representation of, say, an odor. Accordingly, the representation of a word would not be restricted to a small cortical locus, but would be distributed over well-defined areas, for example over Broca’s, Wernicke’s, and some other áreas”.

hebbiaba condiz com a concepção estrutural e funcional sugerida pela teoria da semântica incorporada, como salienta Calvo e Gomila (2008, p. 295):

“[...] a atividade relacionada a uma forma de palavra ocorre ao lado da atividade sensório-motora correspondente ao referente da palavra, portanto, os dois se associam, e as ativações sensório-motoras tornam-se a representação semântica para uma determinada palavra”²⁰⁰.

Nesse sentido, as diferentes classes semânticas estão em consonância com as áreas corticais ativadas mediante as propriedades conceituais das mesmas. Ou seja, “[...] as características semânticas das palavras determinam o loci do seu processamento cortical”²⁰¹ (Pulvermüller, 1999, p. 275). Basicamente, os códigos linguísticos são processados em áreas perisilvianas em ambos hemisférios do lobo temporal do qual inclui as tradicionais áreas de Broca e Wernicke. Enquanto essa porção cortical processa basicamente informações visuais e fonológicas da linguagem, regiões que estão além da fissura silviana codificam as propriedades semânticas das mesmas. Ou seja, os processos fisiológicos atribuídos as palavras. Desse modo, as teorias da semântica incorporada determinam basicamente as categorias de conhecimento em palavras de ação e percepção. As palavras de ação estão em correlação com os movimentos do próprio corpo, como pegar, chutar, morder ou beijar. Quando pronunciamos, escrevemos, lemos ou pensamos na palavra chutar, seu processamento neurobiológico perpassa pelas clássicas áreas da linguagem assim como nos córtices motor, pré-motor e pré-frontal relacionados aos programas motores (Pulvermüller, 1999). O mesmo procedimento ocorre com a classe de palavras sensoriais, isto é, termos que remetem a determinados tipos de percepção, como a visão, tato, paladar, audição, sensações somáticas, etc. Por exemplo, palavras cujo conteúdo semântico está relacionado com a visão: a palavra verde, azul, amarelo, ou até mesmo substantivos concretos com referentes imagináveis, como o nome de animais. Nesse caso, a diferença semântica entre um crocodilo e um jacaré requer o funcionamento de diferentes

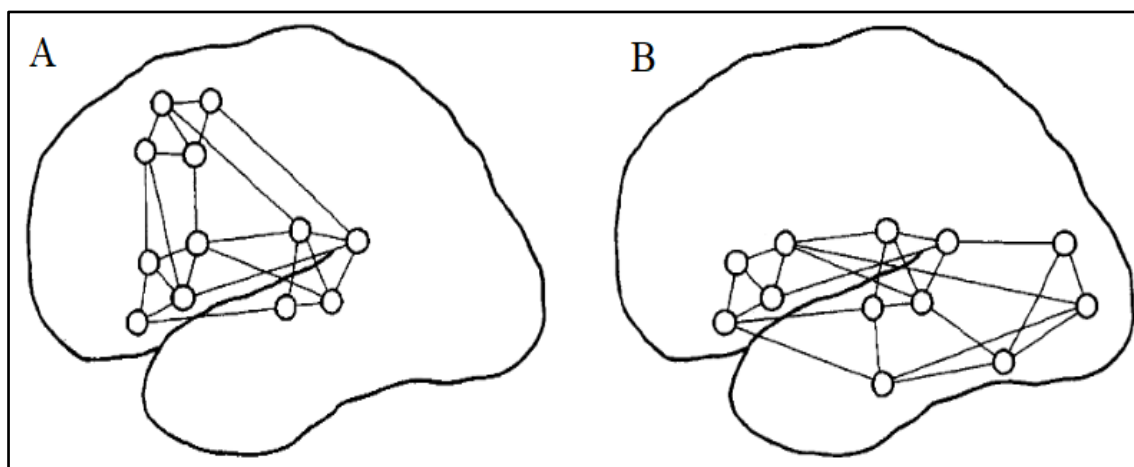
²⁰⁰ Trecho original: “[...] activity related to a word form occurs alongside sensory–motor activity corresponding to the word’s referent, therefore, the two become associated, and sensory–motor activations become the semantic representation for a particular word”.

²⁰¹ Trecho original: “[...] semantic characteristics of words determine the loci of their cortical processing”.

redes neurais sensíveis a cor nos córtices visuais dos quais vão fornecer pistas conceituais que diferenciem ambos animais (Ibidem, 1999).

A propósito, não está totalmente claro se é necessário a participação de outras redes neurais ou se um mesmo circuito, isto é, um conjunto topográfico de células neurais pode mediar a representação conceitual de uma determinada categoria semântica. Nesse caso é preciso esclarecer se um conceito linguístico como cobra ou serpente é representado neurobiologicamente pela sobreposição da atividade de uma mesma rede neural ou pela diferença no padrão de atividade espaço temporal no mesmo circuito. Segundo a proposta de Hebb, as regras de aprendizagem cortical sugerem a ativação simultânea de um conjunto de neurônios do qual corresponde a uma onda de excitação descrita como um padrão espaço temporal da atividade neural, assim como outros dois estados funcionais, isto é, a ignição que corresponde a ativação total da rede e a reverberação que representa a atividade parcial e sustentada de uma assembleia neural (Hebb, 1949).

Figura 26 - Distribuição topográfica da representação semântica.



Fonte: Adaptado de Pulvermüller, 1999, p. 262. Vista lateral do hemisfério esquerdo do córtex cerebral humano da qual inclui a fissura silviana ilustrada pela linha horizontal alongada com extensão ao interior da superfície cerebral. Enquanto os círculos representam grupos de neurônios locais, as linhas ilustram conexões recíprocas entre eles. As teias funcionais formam a distribuição topográfica da representação semântica. Na imagem A, estão presentes populações neurais distribuídas na fissura silviana que fazem conexão com grupos neurais situados nos córtices motores. Essa configuração topográfica corresponde a categoria de palavras de ação. A imagem identificada pela letra B mostra conexões neurais que perpassam pelas áreas perisilvianas que fazem conexão com o córtex occipital. Tal arranjo circuitario remete as palavras sensoriais, nesse caso visual.

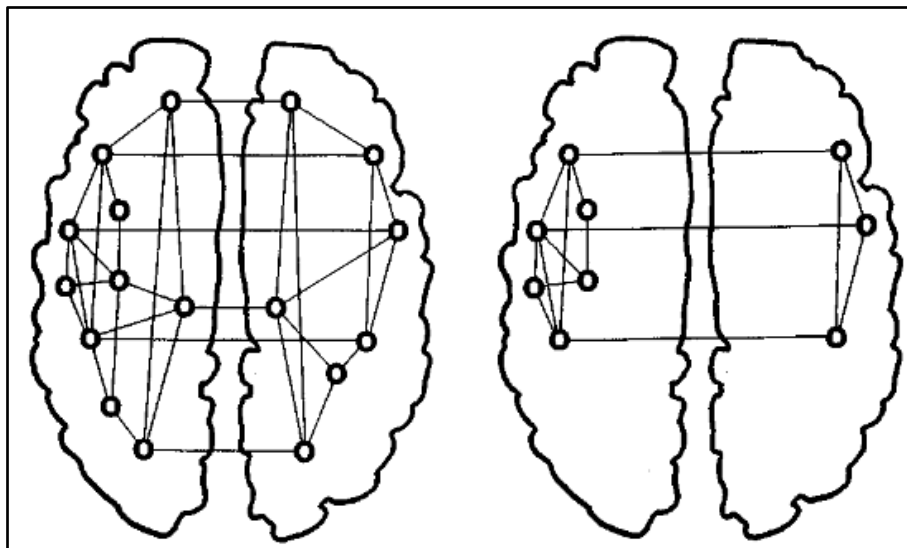
Cabe acrescentar que a teoria hebbiana infere que existem fatores genéticos que pré-configuram a distribuição de unidades de processamento

linguístico no hemisfério esquerdo do córtex cerebral. Apesar da organização estrutural ser previamente circunscrita seu funcionamento pode ser modelado pelo curso de informações que transpassam por esses circuitos, viabilizando assim a adição de novas unidades de processamento, isto é, populações neurais que vão sendo agregadas à medida que os estímulos vão sendo consolidados.

“[...] se os neurônios do hemisfério esquerdo são mais propensos a responder a estímulos de linguagem e a controlar articulações precisamente cronometradas, conjuntos de células representando formas de palavras seriam gradualmente lateralizados para a esquerda no seguinte sentido: eles incluem um grande número de neurônios no hemisfério esquerdo e um número menor de neurônios no direito. De acordo com essa visão, um conjunto de células lateralizadas não se restringe a um hemisfério, mas uma porcentagem maior de seus neurônios estaria no hemisfério “dominante” e uma porcentagem menor no hemisfério “não dominante” (Pulvermüller & Mohr 1996)”²⁰² (Pulvermüller, 1999, p. 260, aspas do autor).

A imagem a seguir ilustra a hipótese supracitada.

Figura 27 - Teias topográficas da representação semântica bi-hemisférica.



Fonte: Pulvermüller, (1999, p. 261). Visão do plano transversal de ambos hemisférios do córtex cerebral humano. Os círculos representam populações de neurônios e as linhas correspondem

²⁰² Trecho original: “[...] if the left hemisphere’s neurons are more likely to respond to language stimuli and to control precisely timed articulations, cell assemblies representing word forms would be gradually lateralized to the left in the following sense: They include a large number of neurons in the left hemisphere and a smaller number of neurons in the right. According to this view, a lateralized cell assembly is not restricted to one hemisphere, but a greater percentage of its neurons would be in the “dominant” hemisphere and a smaller percentage in the “nondominant” hemisphere (Pulvermüller & Mohr 1996)”.

aos axônios que medeiam a comunicação entre eles. A imagem do lado esquerdo representa a distribuição estrutural de palavras de conteúdo concreto, como a semântica sensorial ou motora. A figura ao lado direito ilustra a configuração neurobiológica de palavras cujo sentido perpassa pelo sistema auditivo (por exemplo, a palavra música, assóvio ou barulho), e de palavras de função gramatical (ou, e, não, se), que aparecem na teia estruturada no hemisfério esquerdo. O processamento gramatical remete a redes neurais especializadas geneticamente. Ambos hemisférios estão conectados pelo corpo caloso do qual não aparece na imagem, mas que está anatomicamente situado entre eles.

Aliás, a diferença da atividade eletrocortical inter-hemisférica e bi-hemisférica salienta a perspectiva hebbiana de que existem diferentes sistemas semânticos especializados segundo o substrato neurofisiológico recrutado. De modo geral, podemos inferir que as topografias semânticas revelam uma organização estrutural e funcional que são modeladas por fatores genéticos, ambientais e cognitivos que configuram as redes semânticas no córtex cerebral de cada falante.

Afinal, vale mencionar que a teoria de Hebb também sugere que diferentes características de uma palavra, isto é, seu aspecto fonológico, gramatical e semântico não ocorre em processos sucessivos como uma cadeia de eventos bem definidos, mas sim todas os elementos que compõem uma palavra são codificados sincronicamente. Nesse sentido, parece inviável inferir que primeiro ocorre o processamento fonológico, seguido pelo semântico e por fim o gramatical. Ou seja, a ignição de uma topografia neural ativa a representação em áreas semânticas, juntamente com os córtices encarregados pelo processamento fonológico e gramatical de forma simultânea. Apesar das diferenças de disparos temporais mediar múltiplos processos linguísticos, as representações ocorrem pela ativação de conjuntos de células distribuídas no córtex.

“Os loci de processamento podem ser distintos, embora, funcionalmente, os neurônios em loci distantes interajam. Esses dados neuropsicológicos são inteiramente compatíveis com a visão de que a informação fonológica e semântica é unida em unidades funcionais e acessada quase simultaneamente quando as palavras estão sendo processadas”²⁰³ (Pulvermüller, 1999, p. 277).

²⁰³ Trecho original: “Processing loci may be distinct, although, functionally, neurons at distant loci interact. These neuropsychological data are entirely compatible with the view that phonological and semantic information is bound together in functional units and accessed almost simultaneously when words are being processed”.

Em suma, o movimento da cognição incorporada da qual inclui a simulação do conhecimento conceitual, isto é, a semântica corporificada, infere que grupos de neurônios distribuídos nas áreas de Broca e Wernicke estabelecem conexões com outras regiões mediante as características do conteúdo fisiológico referente a um grupo semântico ou somente de uma palavra. Desse modo, as redes neurais que formam uma topografia cortical são ativadas de acordo com a natureza semântica da palavra. Logo, diferentes categorias de conhecimento podem ser agrupadas a partir do tipo de incorporação dos sistemas sensoriais ou motores. Ou seja, o sistema sensorial tende a ser recrutado mediante palavras sensoriais, enquanto termos que dizem respeito a movimentos corporais ou membros do corpo humano ativam os córtices motores. Um dano específico em uma área pode comprometer a representação semântica de um grupo de conceitos, assim como outras lesões tendem a gerar déficits funcionais de acordo com o mecanismo neurológico comprometido. É importante salientar que a simulação semântica ocorre de modo inconsciente, logo automático, pois se trata de mecanismos neurológicos que subjazem a representação mental. Afinal:

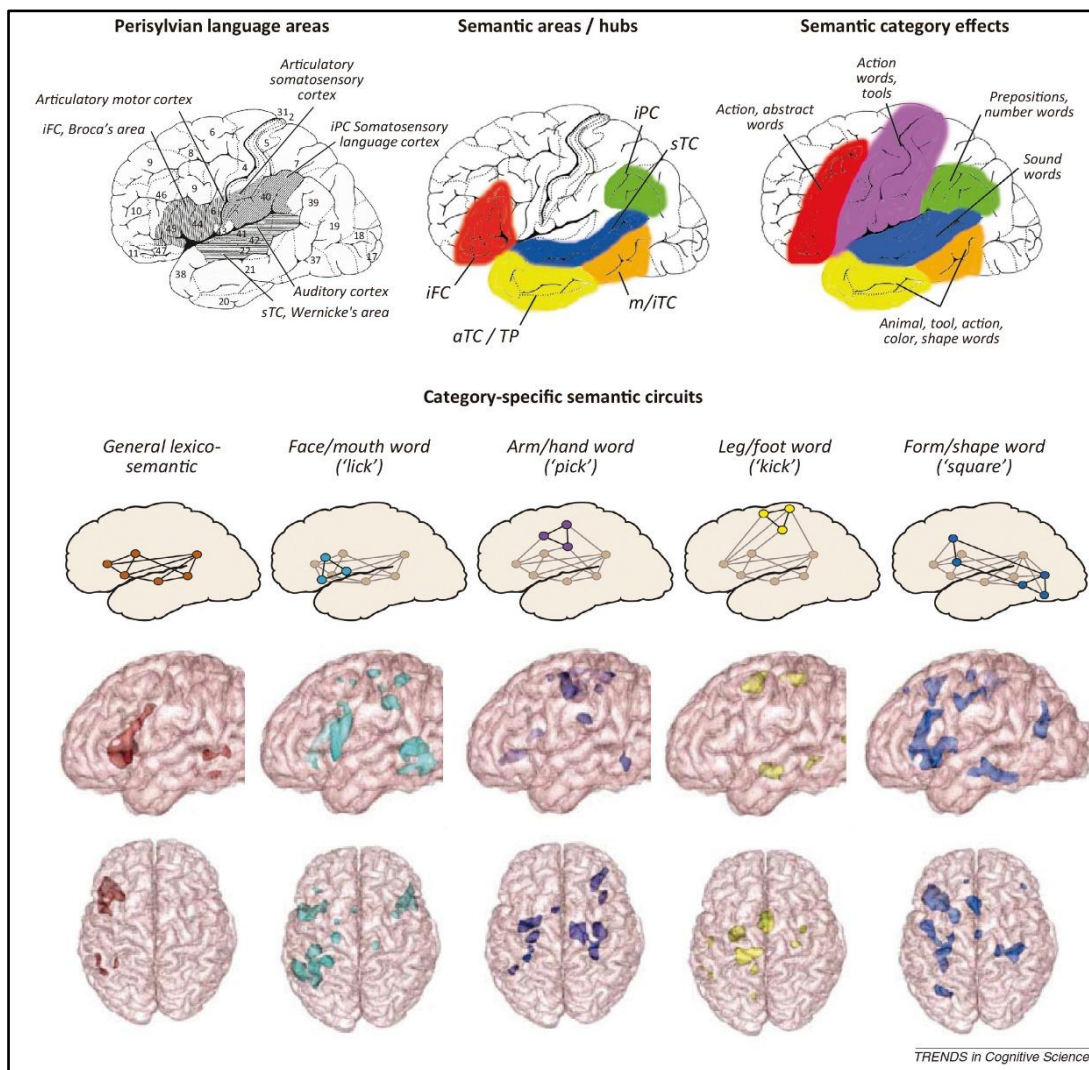
“Dizer que o cérebro simula processos sensoriais e motores como mecanismo para operações cognitivas envolvendo conhecimento conceitual não simplifica o problema nem responde a nenhuma questão fundamental. Em vez de uma revolução ou mudança de paradigma na ciência da mente, a cognição incorporada pode ser simplesmente caracterizada como a percepção de que os sistemas sensoriais e motores realizam computações abstratas e complexas (que os cientistas dos sistemas sensoriais e motores já conheciam). Seríamos igualmente precisos em chamar o movimento de cognitização do processamento sensório-motor”²⁰⁴ (Hickok, 2014, p. 305-306).

Apesar do movimento pós-cognitivista defender um papel ativo e direto dos sistemas sensoriais e motores junto com a cognição, tal hipótese não deve

²⁰⁴ Trecho original: “Saying that the brain simulates sensory and motor processes as the mechanism for cognitive operations involving conceptual knowledge doesn’t simplify the problem or answer any fundamental questions. Rather than a revolution or paradigm shift in the science of the mind, embodied cognition might simply be characterized as the realization that sensory and motor systems perform abstract, complex computations (which sensory and motor system scientists knew already). We would be just as accurate in calling the movement the cognitization of sensorimotor processing”.

se limitar a mera localização cortical. Ou seja, é necessário responder a perguntas sobre como, quando e por que os sistemas sensório-motores são recrutados mediante a simulação da qual envolve o conhecimento conceitual. Nesse sentido compreendemos que é necessário revisar os embasamentos teóricos e experimentais do movimento pós-cognitivista em busca de respostas que vão além da interpretação localizacionista. Afinal, localizar não significa explicar.

Figura 28 - Mecanismos neurobiológicos da semântica incorporada.



Fonte: Adaptado de Pulvermüller, (2013, p. 460). Examinando a ilustração a partir do lado esquerdo superior da imagem temos o lóbulo esquerdo numerado com a classificação das áreas de Brodmann. Áreas destacadas em cinza correspondem as áreas perisilvianas da linguagem das quais incluem Broca e Wernick. O cérebro localizado no centro superior ilustrado com cores distintas exemplifica as áreas semânticas ou centros de processamento geral de conteúdo semântico. No lado superior direito está a representação de áreas corticais que são recrutadas mediante categorias semânticas específicas. O painel do meio localizado na horizontal revela as teias semânticas de acordo com a categoria conceitual. Os círculos correspondem a populações neurais com destaque aos pontos coloridos que se sobressaem de acordo com o aspecto

semântico representado. Abaixo estão imagens do lado esquerdo do córtex cerebral reveladas por fMRI e suas áreas de ativação de acordo com o painel superior. Por fim, o painel horizontal inferior mostra a partir da vista superior de ambos hemisférios, ativações inter-hemisférica na primeira imagem e bi-hemisférica nas outras que representam as topografias corticais de acordo com o sistema semântico ativado. Abreviaturas: iFC, córtex frontal inferior; iPC, córtex parietal inferior; sTC, córtex temporal superior; m/iTC, córtex temporal médio/inferior; aTC, córtex temporal anterior; TP, polo temporal.

Tendo em vista as hipóteses estruturais e funcionais sugeridas pelo movimento da cognição incorporada em específico da semântica corporificada, podemos examinar como os NE são correlacionados com tais inferências.

“A partir da descoberta dos neurônios espelho, a interpretação desse achado foi que eles permitem ao observador compreender diretamente o objetivo das ações dos outros: observar ações realizadas por outro indivíduo provoca uma ativação motora no cérebro do observador semelhante à que ocorre quando o observador planeja suas próprias ações, e a semelhança entre essas duas ativações permite que o observador compreenda as ações dos outros sem precisar do processamento inferencial”²⁰⁵ (Rizzolatti e Sinigaglia, 2010, p. 268).

Nessa perspectiva, a ativação motora no cérebro do observador corresponde a simulação da ação mediada pelo circuito de NE. Essa ativação do repertório topográfico viabiliza a compreensão do sentido da ação sem a intermediação do sistema cognitivo. Logo, a inferência de que os NE desempenham um papel essencial na compreensão do objetivo da ação está em congruência com o movimento da cognição incorporada. Aliás, “Os termos *espelhamento* e *simulação*, por exemplo, são frequentemente usados como sinônimos”²⁰⁶ (Hickok, 2014, p. 309, itálico do autor). A concepção de que o cérebro, em particular, o sistema motor simula o conteúdo semântico de palavras de ação como agarrar, chutar ou morder, salienta a noção de uma ativação somatotópica das áreas motoras e pré-motoras. Segundo o trabalho de Aziz-Zadeh e colaboradores do qual inclui Rizzolatti (2006, p. 1818):

²⁰⁵ Trecho original: “From the discovery of mirror neurons, the interpretation of this finding was that they allow the observer to understand directly the goal of the actions of others: observing actions performed by another individual elicits a motor activation in the brain of the observer similar to that which occurs when the observer plans their own actions, and the similarity between these two activations allows the observer to understand the actions of others without needing inferential processing”.

²⁰⁶ Trecho original: “The terms *mirroring* and *simulation*, for exemple, are often used synonymously”.

“A congruência entre os setores corticais ativados por ações de observação e por suas descrições verbais [leitura de frases relacionadas ao pé, mãos ou ações com a boca] fornece evidências de um envolvimento de áreas pré-motoras com propriedades de neurônios espelho na reencenação de representações sensório-motoras durante o processamento conceitual de frases linguísticas que descrevem ações”²⁰⁷.

Até mesmo sentenças com conteúdo metafórico que são construídas com palavras de ação ou que designam partes do corpo, por exemplo “pega essa ideia”, “chutar o balde”, “a orelha do livro” ou “o braço do rio”, ativam circuitos semânticos que perpassam topograficamente pelos córtex motores (Boulenger e Pulvermüller, 2009). Aliás, palavras de conteúdo abstrato como liberdade, Deus, paciência ou justiça apresentam ligações fracas com circuitos sensoriais e motores, pois são termos que podem ser relacionados de modo amplo. A semântica de conteúdo abstrato não se liga a um tipo particular de rede topográfica, mas sim a uma variedade difusa de diferentes circuitos neurais. Além do mais, termos abstratos tendem a ser representados neurobiologicamente em zonas de maior convergência como o córtex pré-frontal e temporal anterior (Barsalou e Wiemer-Hastings, 2005).

A correlação dos circuitos de NE com o movimento da cognição incorporada enfatiza que o conteúdo semântico recruta os sistemas sensoriais e motores utilizados durante a experiência mediada pela visão, audição ou pelo sistema motor. A semântica incorporada pelos NE infere que além de simular o conteúdo conceitual de classes de palavras relacionadas a partes do corpo ou a ações e percepções, a representação neurobiológica viabiliza recuperar o sentido da ação, assim como o reconhecimento semântico a partir da ativação das redes topográficas estruturadas pelos NE. Colocando em outras palavras, o repertório sensório motor formado pelo circuito de NE multimodais simula uma ação visualizada ou um som capitado que ao serem incorporados propicia o reconhecimento do objetivo de uma ação, assim como o sentido semântico de um som. Afinal, a simulação ocorre devido o espelhamento entre topografias

²⁰⁷ Trecho original: “Congruence between the cortical sectors activated by observing actions and by their verbal descriptions provides evidence for an involvement of premotor areas with mirror neuron properties in re-enactment of sensory-motor representations during conceptual processing of linguistic phrases describing actions”.

corticais semelhantes no córtex do emissor e receptor, que aliás são automáticas, ou seja, não requer operações cognitivas de nível superior.

A propósito da cognitivização do processamento sensório-motor, compreendemos em consonância com o pensamento de Hickok (2014, p. 314), que “[...], o fato de o sistema motor ser ativado enquanto observamos ou pensamos em ações não significa necessariamente que o sistema motor seja a base da compreensão”²⁰⁸. Além do mais:

“O problema com esse tipo de resultado [ativação do córtex motor mediante o processamento de palavras de ação], é que ele não pode determinar se o córtex motor está ativando porque faz parte da representação semântica das palavras (a afirmação usual) ou simplesmente porque há uma associação entre os significados das palavras e as ações a que se referem. Ou seja, o significado do *chute* pode ser armazenado independentemente do córtex motor, mas como esse significado está associado às ações de chutando, o acesso ao significado do *chute* resulta na ativação da disseminação dentro das redes cerebrais às quais está associado, incluindo a região do córtex motor da perna”²⁰⁹ (Hickok, 2010, p. 16, parênteses e itálico do autor).

Nessa perspectiva, de um lado está a representação semântica da palavra chutar e por outro a associação do sentido com o sistema neurofisiológico correspondente. Ou seja, como discernir se as redes topográficas no córtex motor armazenam informações semânticas de palavras de ação ou se são ativadas simplesmente pela associação de seu conteúdo. É importante lembrar que as pesquisas experimentais sobre as bases neurobiológicas da semântica incorporada revelam basicamente quais são as áreas onde tais processos ocorrem e não como ou por que. Sendo assim, é necessário ir além da localização causal. Tal inferência pode ser aplicada aos NE e sua correlação com a simulação da ação e do conteúdo semântico. Afinal,

²⁰⁸ Trecho original: “[...] the fact that the motor system activates while watching or thinking about actions doesn’t necessarily mean that the motor system is the basis of understanding”.

²⁰⁹ Trecho original: “The problem with this type of result is that it cannot determine whether motor cortex is activating because it is part of the semantic representation of the words (the usual claim) or simply because there is an association between the word meanings and the actions they refer to. That is, the meaning of *kick* may be stored independently of motor cortex, but because this meaning is associatively linked to kicking actions, access to the meaning of *kick* results in spreading activation within brain networks to which it is associatively linked, including the leg region of motor cortex”.

os termos espelhamento, simulação ou computação não esclarecem questões sobre quando, como e por que a organização estrutural e funcional dos sistemas sensoriais e motores coparticipam do processamento de informações de baixo e alto nível. Ou seja, são os “Mesmos velhos problemas com um vocabulário novo”²¹⁰ (Hickok, 2014, p. 343).

Tendo em vista as hipóteses examinadas nesse capítulo resumizamos as principais ideias da seguinte maneira:

- a) O movimento da cognição incorporada sugere que a organização estrutural e funcional dos sistemas sensoriais e motores operam em conjunto com o sistema cognitivo como uma unidade indissociável.
- b) A cognição incorporada infere que o conhecimento semântico não está armazenado no nível superior de processamento cognitivo. O modelo incorporado de representação conceitual considera que o processamento inferior (sensório-motor) e superior (cognitivo) estão encarnados no cérebro e estão em consonância com os processos orgânicos do corpo que está situado em um ambiente.
- c) O conceito de simulação corresponde ao espelhamento neurobiológico de topografias sensoriais e motoras que medeiam as possibilidades de interação e sentido de uma ação, assim como o conteúdo semântico de informações acústicas.
- d) O arranjo estrutural e funcional de categorias semânticas está distribuído tanto em áreas específicas do córtex quanto em múltiplas regiões, sugerindo assim que existem diversos sistemas semânticos. A organização estrutural de topografias corticais pode acrescentar outras unidades de processamento (populações neurais), de acordo com o fluxo de informações oriundas do ambiente externo ou interno.

²¹⁰ Trecho original: “Same old problems, new vocabulary”.

- e) O circuito de NE tem como característica funcional disparar potenciais de ação mediante a observação ou audição de estímulos codificados previamente no repertório sensório motor do receptor. Esse espelhamento viabiliza o reconhecimento automático do sentido da ação comportamental ou acústica.

- f) Apesar do movimento da cognição incorporada recorrer aos postulados associacionistas das regras de aprendizagem cortical proposta por Hebb, a representação topográfica de redes semânticas não esclarece como a dinâmica de conjuntos celulares unificam a percepção sensório-motora, o comportamento e a cognição. Denominar um processo de incorporado não responde a perguntas sobre como, quando e por que múltiplos processos de baixo e alto nível são organizados estruturalmente e funcionalmente nos vértices neurobiológico, cognitivo e somático que estão em correlação com o ambiente circundante.

CAPÍTULO 5 - NEURÔNIOS ESPELHO E SINTAXE

Tendo em vista a correlação dos NE com a fonética e a semântica é oportuno indagar se essa classe de células neurais estabelece algum vínculo com a sintaxe linguística. É importante mencionar que os trabalhos iniciais realizado pelo grupo de Parma sugerem que os NE foram associados apenas com a fonética e a semântica. Assim, as bases neurobiológicas da sintaxe não foram vinculadas com a organização estrutural e funcional dessas células. A literatura sobre os NE apresenta poucos trabalhos que inferem alguma correlação com os processos sintáticos. Sendo assim, o propósito desse subcapítulo é conhecer tais deduções. Podemos compreender o conceito teórico de sintaxe da seguinte maneira:

“A linguagem humana como tal pode ser distinguida de outros meios de comunicação principalmente pela sintaxe, um sistema cognitivo específico de regras e operações que permite a combinação de palavras em meta-estruturas como frases e sentenças. Além do sistema linguístico central que consiste em regras sintáticas e um inventário de palavras, existem duas interfaces: uma interface externa, ou seja, a interface sensório-motora que serve à percepção e à produção; e uma interface interna, ou seja, a interface conceitual-intencional garantindo a relação do componente central da linguagem com conceitos, intenções e raciocínios (Berwick, Friederici, Chomsky e Bolhuis, 2013)”²¹¹ (Friederici, 2017, p. 3).

Nesse sentido, a sintaxe corresponde a habilidade cognitiva de combinar elementos linguísticos, ou seja, é um mecanismo interno que propicia aos seres humanos encadear um conjunto de palavras em uma unidade complexa (sintagma), que pode formar uma frase/enunciado, uma oração/cláusula ou um período/sentença. Segundo Areas (2013, p. 179 – 181, *itálico do autor*):

²¹¹ Trecho original: “Human language as such can be distinguished from other means of communication mainly by syntax, a specific cognitive system of rules and operations that permits the combination of words into meta-structures such as phrases and sentences. In addition to the core language system consisting of syntactic rules and an inventory of words, there are two interfaces: an external interface, that is, the sensory-motor interface subserving perception and production; and an internal interface, that is, the conceptual-intentional interface guaranteeing the relation of the core language component to concepts, intentions, and reasoning (Berwick, Friederici, Chomsky, and Bolhuis, 2013)”.

“Sintaxe é uma palavra tradicional que nas ciências cognitivas assume o valor de Sistema Computacional da linguagem humana. Trata-se do conjunto das computações cognitivas que geram representações linguísticas complexas, como sintagmas e frases. [...] A noção de sintagma é derivada da noção matemática de *conjunto*. Um conjunto é tipicamente uma coleção de unidades que formam um todo, uma unidade complexa. Da mesma forma, um sintagma é tipicamente um conjunto de elementos [linguísticos], uma unidade complexa. Dizemos que o sintagma é uma *unidade* porque computacionalmente ele se comporta como tal. Um sintagma, ainda que seja constituído internamente por diversos elementos é manipulado pelo Sistema Computacional [sintaxe] como se fosse uma peça única”.

Assim sendo, o sistema sintático pode combinar uma palavra com outra formando uma frase que pode ser encaixada a outro enunciado, gerando uma oração que pode ser combinada com outra cláusula resultando em um período que corresponde a uma sentença. Podemos ilustrar com o seguinte exemplo:

1. [a] + [tese] = a tese
2. [a tese] + [científica] = a tese científica
3. [a tese científica] + [sobre neurociência da linguagem] = a tese científica sobre neurociência da linguagem.
4. [a tese científica sobre neurociência da linguagem] + [está sendo produzida pelo pesquisador] = a tese científica sobre neurociência da linguagem está sendo produzida pelo pesquisador.

É importante salientar que a constituição de um sintagma ocorre a partir da combinação entre dois elementos: uma palavra com outra ou uma frase com outra frase e assim sucessivamente. Logo, as combinações entre elementos linguísticos computados pelo mecanismo sintático são binárias. Aliás, as junções sintagmáticas podem ser recursivas, isto é, uma palavra, frase, oração ou sentença pode ser reutilizada para constituir um outro sintagma.

“A recursão como encontrada na sintaxe da linguagem humana é aquela que implica embutir uma certa estrutura dentro da mesma estrutura, algo que é comum em todas as línguas do mundo e que foi

capturado formalmente pela primeira vez desde os trabalhos seminais de Chomsky na década de 1950”²¹² (Tettamanti e Moro, 2012, p. 928).

Podemos exemplificar a recursividade linguística da seguinte forma:

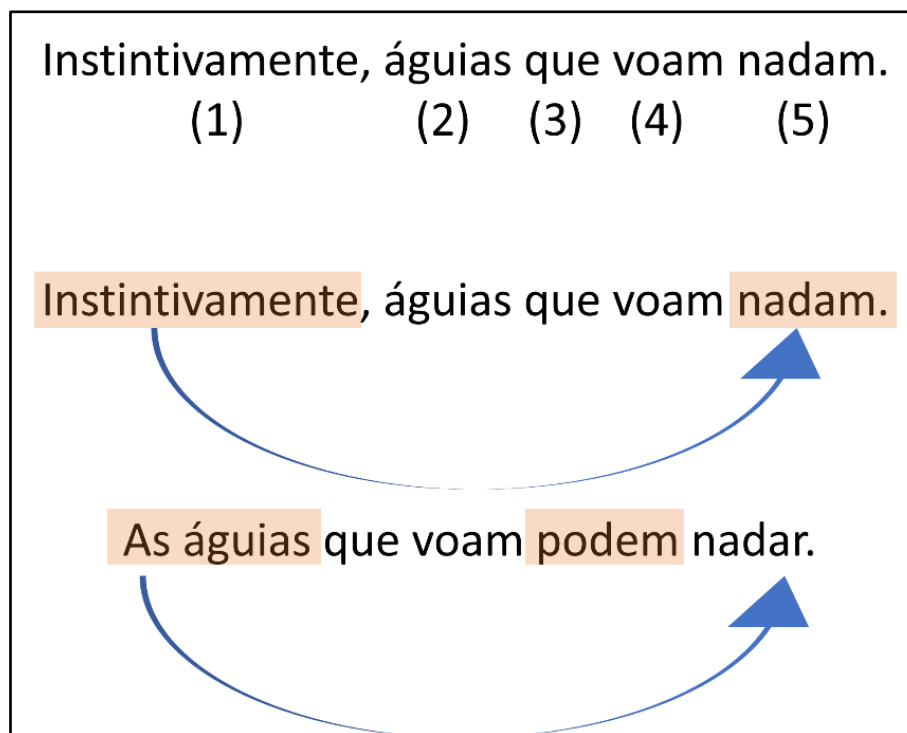
5. [a] + [pesquisa] = a pesquisa
6. [a pesquisa] + [científica] = a pesquisa científica
7. [a pesquisa científica] + [precisa ser clara] = a pesquisa científica precisa ser clara.
8. [a pesquisa científica precisa ser clara] + [sendo assim, a pesquisa científica deve ser objetiva] = a pesquisa científica precisa ser clara, sendo assim, a pesquisa científica deve ser objetiva.
9. [a pesquisa científica precisa ser clara, sendo assim, a pesquisa científica deve ser objetiva] + [portando, a pesquisa científica será clara e objetiva] = a pesquisa científica precisa ser clara, sendo assim, a pesquisa científica deve ser objetiva, portanto, a pesquisa científica será clara e objetiva.

Apesar de gerar estruturas linguísticas lineares, quer dizer, o encadeamento de uma palavra após a outra (*string* de palavras), a sintaxe não se restringe a organização sequencial dos sintagmas. Colocando em outras palavras, a sintaxe possui duas dimensões, uma voltada para a externalização de conteúdos linguísticos (sintaxe no sentido amplo ou sintaxe externa), que ordena serialmente as palavras em uma estrutura linear, e uma dimensão interna (sintaxe no sentido estrito ou sintaxe interna), que vai além da ordem sequencial dos elementos linguísticos, pois seu processamento ocorre no nível cognitivo da linguagem, isto é, no nível simbólico. Recapitulando, podemos inferir que a articulação linear da fala, da escrita ou de gestos comunicativos corresponde a parte periférica da linguagem que reflete as propriedades do sistema sensorial e motor, enquanto o vértice interno está correlacionado aos fenômenos de concordância, isto é, as relações semânticas que decorrem da correspondência

²¹² Trecho original: “Recursion as found in human language syntax is one that implies embedding of a certain structure within the same structure, something which is common in all languages of the world and that has been first captured formally since the seminal works by Chomsky in the 1950s”.

gramatical das palavras e não da ordem sequencial encontrada nas formas externalizadas. O seguinte quadro ilustra a diferença entre ambos.

Figura 29 - Dimensão linear e hierárquica da sintaxe.



Fonte: Adaptado de Chomsky, (2019, p. 7. informação pessoal)²¹³. A primeira sentença localizada no canto superior da imagem representa a dimensão linear de uma *string* de palavras que pode ser expressa pela fala, pela escrita ou até mesmo pela linguagem de sinais. Os números identificam a ordem dos elementos linguísticos que constituem o período. Tal exemplo remete a sintaxe no sentido externo (estrutura horizontal). A sentença localizada no meio e no canto inferior da imagem correspondem a sintaxe no sentido interno (estrutura vertical), pois as relações semânticas não ocorrem simplesmente pela correspondência linear entre as palavras, mas sim, a partir dos fenômenos de concordância gramatical. As setas em azul indicam como um sintagma se correlaciona com outro a longa distância, ou seja, se desatando da ordem das palavras. Por exemplo: a palavra “instintivamente” está associada com o verbo nadar e não com voar. Da mesma forma, a sentença “As águias que voam podem nadar” é sobre a capacidade de nadar, não de voar.

A habilidade sintática de combinar elementos linguísticos em uma sequência hierarquicamente estabelecida por regras gramaticais, distingue a linguagem humana dos animais, pois permite criar um volume de sentenças e significados possivelmente ilimitados. Vale mencionar que símios, abelhas, pássaros ou golfinhos, apesar de possuírem seus sistemas de comunicação gestual ou acústico não dispõem de um mecanismo de combinação sintático, pois sua capacidade está restrita a repetição de elementos comunicativos que

²¹³ Chomsky, N. 2019. What is Language. Destinatário: Caetano, A., F., R. [São Paulo], 02 de dez. 2019. Material disponível na plataforma virtual da Universidade do Arizona exclusivamente para os alunos do curso “Language, Mind, and Brain”, realizado em 2019.

podem salientar uma mensagem, mas não formar uma nova estrutura ou criar um novo sentido (Wilson, 1929; Terrace et al., 1979). Como mencionado na primeira citação desse capítulo, a interface sensório-motora e conceitual-intencional são compartilhadas por outras espécies, porém a sintaxe interna corresponde a um recurso cognitivo de alto nível em humanos. Segundo Chomsky (2019, p. 8 – 9, informação pessoal²¹⁴):

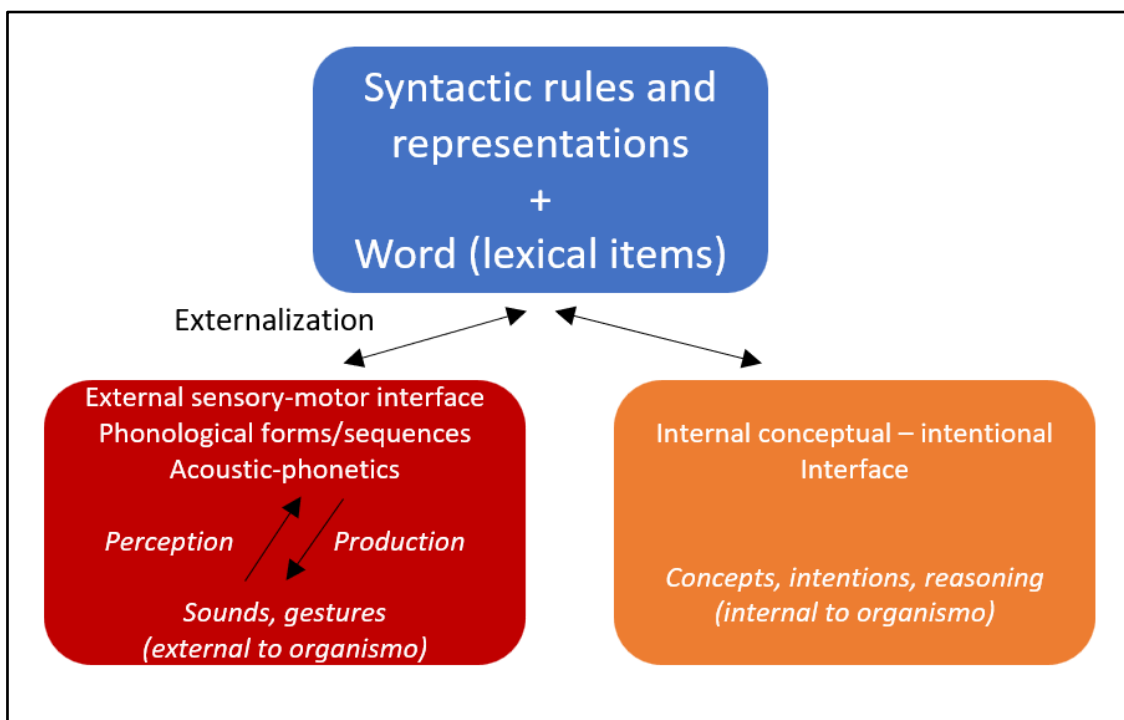
“A ordem linear, então, é uma parte periférica da linguagem, reflexo de propriedades do sistema sensório-motor que a exige: não podemos falar em paralelo, nem produzir estruturas, mas apenas sequências de palavras. O sistema sensório-motor não está especificamente adaptado à linguagem em aspectos fundamentais: as partes essenciais para a exteriorização e a percepção parecem estar instaladas muito antes do surgimento da linguagem”²¹⁵.

Em suma, a sintaxe linguística corresponde a um sistema bidimensional que perpassa pelo sistema cognitivo (sintaxe interna), que computa as informações linguísticas com base nos fenômenos de concordância gramatical de um sintagma. Por outro lado, está a dimensão externa (sintaxe no sentido amplo), isto é, a sequência linear das palavras que podem ser produzidas e percebidas por intermédio da fala, da escrita ou por gestos comunicativos ordenados serialmente. Enquanto o primeiro vértice alude a uma cognição linguística exclusivamente humana, o segundo é partilhado por diferentes espécies de animais. A imagem abaixo ilustra os mecanismos da linguagem.

²¹⁴ Chomsky, N. 2019. What is Language. Destinatário: Caetano, A., F., R. [São Paulo], 02 de dez. 2019. Material disponível na plataforma virtual da Universidade do Arizona exclusivamente para os alunos do curso “Language, Mind, and Brain”, realizado em 2019.

²¹⁵ Trecho original: “Linear order, then, is a peripheral part of language, a reflex of properties of the sensorymotor system, which requires it: we cannot speak in parallel, or produce structures, but only strings of words. The sensorymotor system is not specifically adapted to language in fundamental respects: the parts essential for externalization and perception appear to have been in place long before language emerged”.

Figura 30 - Organização estrutural e funcional da linguagem.



Fonte: Adaptado de Berwick et al., (2013, p. 91). O mecanismo sintático aparece na parte superior da imagem inferindo que se trata de um sistema cognitivo central para a linguagem (sintaxe interna). A seta bidirecional do lado externo do retângulo azul e vermelho ilustra a correlação entre a sintaxe e a interface sensório-motora responsável pela percepção e produção dos códigos acústicos da fala, assim como dos gestos articulados (sintaxe externa). O retângulo alaranjado alude a interface semântica que também estabelece contato com o nível cognitivo da sintaxe. Ambos os retângulos aparecem na parte inferior à sintaxe no sentido estrito, inferindo assim uma hierarquia estrutural e funcional entre diferentes sistemas.

É importante mencionar que não basta considerar a sintaxe como um sistema cognitivo exclusivamente humano. É preciso explorar e conhecer suas bases neurobiológicas, assim como distinguir as semelhanças e diferenças no nível estrutural e funcional que permeiam outros sistemas de comunicação. Apesar dos animais possuírem um mecanismo de percepção e produção de mensagens rudimentares, o exame invasivo de células neurais que disparam mediante um gesto comunicativo tanto pela via da organização sequencial de pequenas partículas sonoras que formam uma melodia que transmite uma mensagem, quanto pelo agrupamento linear de movimentos motores que transmitem algum sentido, pode fornecer dados experimentais que colaboram com a formulação teórica do conceito estrito ou amplo de sintaxe.

Ainda examinando a imagem anterior e estabelecendo um paralelo funcional com os NE, podemos inferir que a interface sensório-motora remete a

percepção e produção dos gestos fonéticos codificados pelos NE. Ou seja, essa classe de células neurais representa o substrato neurofisiológico da percepção e produção da fala. O circuito de NE também perpassa pela interface conceitual e intencional como um dos mecanismos neurobiológicos da semântica incorporada. Além disso, existe a hipótese de que a rede de NE participe da codificação hierárquica das palavras em uma sentença (sintaxe externa). É importante salientar que a definição de sintaxe citada no início desse capítulo remete a um sistema linguístico de alta ordem, ou seja, está situado no vértice cognitivo (sintaxe interna), no entanto, vamos examinar a relação dos NE com a dimensão externa da sintaxe, isto é, seu sentido amplo. A propósito, vale conhecer os substratos neuroanatômicos encarregados pela codificação sequencial de informações linguísticas processadas no córtex cerebral humano.

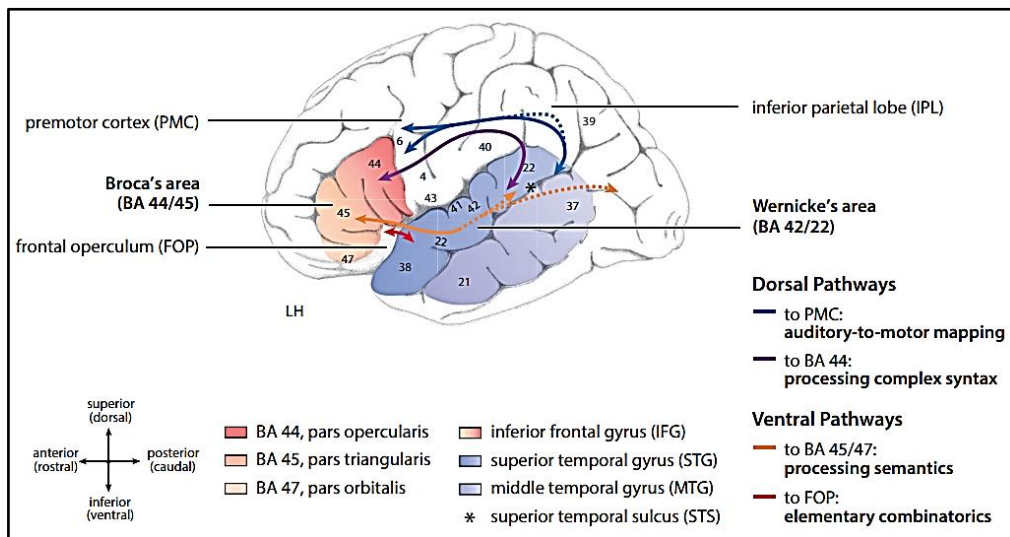
“Os processos sintáticos são baseados em duas redes relevantes para a sintaxe: uma rede ventral e uma rede dorsal. A rede ventral suporta a combinação de dependências adjacentes e, assim, fornece a base para processos posteriores de construção de estrutura de frase. Envolve o giro temporal ântero-superior e o opérculo frontal conectados por uma via localizada ventralmente adjacente à porção ventral de BA 44. A rede dorsal suporta o processamento de hierarquias sintáticas e envolve a porção posterior da área de Broca (BA 44) e a região posterior do giro temporal superior conectado através de uma via localizada dorsalmente”²¹⁶ (Friederici, 2017, p. 119 - 120).

Colocando em outras palavras, a rede ventral (voltada para a parte da frente do cérebro) está correlacionada com processos combinatórios mais simples, por exemplo: o emprego de determinantes como “o navio” ou de frases preposicionais “nos navios”. A funcionalidade desse circuito é desenvolvida durante o período da aquisição da linguagem e conforme o aprendizado vai se consolidando seu funcionamento passa a ser cada vez mais automático (Friederici, 2017). A rede dorsal (voltada para a parte de trás do cérebro) é responsável pela codificação hierárquica de estruturas complexas. Ou seja,

²¹⁶ Trecho original: “Syntactic processes are based on two syntax-relevant networks: a ventral and a dorsal network. The ventral network supports the combining of adjacent dependencies, and thereby provides the basis for later phrase structure building processes. It involves the anterior superior temporal gyrus and the frontal operculum connected via a ventrally located pathway adjacent to the ventral portion of BA 44. The dorsal network supports the processing of syntactic hierarchies and involves the posterior portion of Broca’s area (BA 44) and the posterior superior temporal gyrus connected via a dorsally located pathway”.

processa diferentes mecanismos sintáticos como a organização de frases não canônicas, isto é, enunciados que não seguem as regras gramaticais de uma língua, como: a cientista escreve a pesquisa (Friederici et al., 2006; Bornkessel et al., 2005). Também são processadas nessa via orações com diversos graus de incorporação, quer dizer, que possuem múltiplos sujeitos e substantivos, por exemplo: O homem que o menino cumprimentou é meu amigo (Makuuchi et al., 2009). Por fim, sentenças com diferentes elementos linguísticos como pseudopalavras que podem ser combinadas com outros sintagmas que formam longos períodos que provocam a ativação da rede dorsal, principalmente a porção posterior (BA 44), localizado na área de Broca (Ohta et al., 2013). De modo geral, ambas as redes suportam aspectos distintos do processamento sintático, ou seja, correspondem as bases neurobiológicas que codificam as regras organizacionais de palavras que podem formar uma frase, oração ou sentença, assim como a junção ou separação de partes de palavras (prefixo ou sufixo). Em suma, apesar da sintaxe ser conceituada como um sistema combinatório que pertence ao vértice cognitivo é preciso conhecer sua organização estrutural e funcional no nível neuroanômico como ilustram as seguintes imagens.

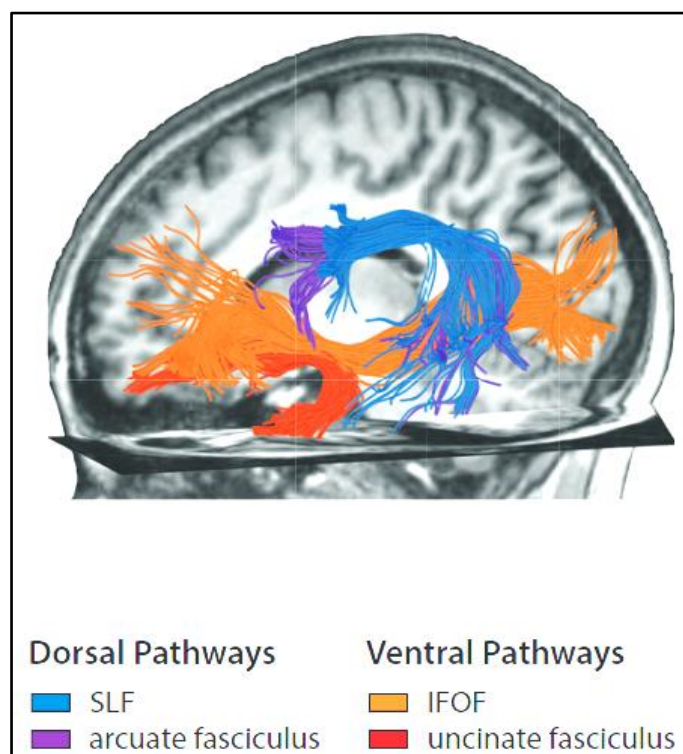
Figura 31 - Organização estrutural e funcional da neurobiologia da linguagem.



Fonte: Friederici, (2017, p. 6). Visão do hemisfério esquerdo do córtex cerebral humano. A via dorsal que conecta o pré-motor dorsal (PMC) com STG/STS posterior envolve o fascículo longitudinal superior (SLF); a via dorsal que conecta BA 44 com o STG posterior envolve o fascículo arqueado (AF). A via ventral conectando BA 45 e BA 47, com o STG/MTG posterior e o córtex occipital, envolve o fascículo fronto-occipital inferior (IFOF) (também chamado de Extreme Capsule Fiber System (ECFS)); a via ventral conectando a FOP com o GST anterior envolve o fascículo uncinado. Esses diferentes tratos de fibras suportam diferentes funções de

linguagem indicadas na legenda do lado direito da figura. Legenda: GST, giro temporal superior; STS, sulco temporal superior; GMT, giro temporal médio.

Figura 32 - Organização neuroanatômica dos feixes de fibras que processam a sintaxe.



Fonte: Adaptado de Friederici, (2017, p. 226). Vista lateral do hemisfério esquerdo mostrando feixes de fibras através da técnica da tractografia. A via dorsal está representada em azul e roxo, enquanto a via ventral está ilustrada nas cores laranja e vermelho. Ambas as vias são compostas por duas vias (ilustradas com cores diferentes), localizadas na superfície posterior e anterior. É interessante notar como a via dorsal está situada espacialmente a frente da via ventral. Legenda: SLF (Fascículo longitudinal superior); IFOF (Fascículo fronto-occipital inferior).

Vale lembrar que os NE foram descobertos na área 6 (setor F5), localizado no córtex pré-motor de símios. Como examinado no capítulo 2, os substratos neuroanatômicos e funcionais do setor F5 apresentam um certo grau de homologia com a área de Broca, em particular com a porção posterior (BA 44).

“Do ponto de vista evolutivo, portanto, a assimetria na área 44 pode estar associada à produção de gestos acompanhados de vocalizações em grandes símios, habilidade que acabou selecionada para o desenvolvimento de sistemas de fala em humanos modernos e talvez gerou mais dobras corticais no IFG [giro frontal inferior], levando à expansão da área 45 de Brodmann no cérebro humano. Qualquer que seja a função da área 44 em grandes símios, nosso achado de que essas espécies apresentam uma assimetria semelhante à humana não apenas nas regiões posteriores (como o planum temporale), mas também nas regiões frontais, indicam que a origem da assimetria em

áreas relacionadas à linguagem do cérebro humano deve ser interpretada em termos evolutivos, em vez de serem confinadas à espécie humana²¹⁷ (Cantalupo e Hopkins 2001, p. 505, parênteses do autor).

Também é oportuno lembrar que a assimetria cortical constatada na região de Broca é reconhecida em muitos primatas não humanos, e os “[...] os substratos neuroanatômicos para a dominância do hemisfério esquerdo na produção da fala foram evidentes há pelo menos cinco milhões de anos e não são exclusivos da evolução dos hominídeos²¹⁸ (Cantalupo e Hopkins, 2001, p. 505). Segundo Rizzolatti e colaboradores (1998, p. 294, parênteses dos autores):

“[...] o desenvolvimento da fala determinou em humanos uma enorme expansão dos campos bucais de áreas homólogas a F4 e F5. Essa expansão se reflete em parte pelo aumento da parte inferior da área 6 em humanos (para aspectos executivos da fala) e ainda mais pelas áreas 44 mais 45 (para suas funções mais cognitivas)”²¹⁹.

Recapitulando as hipóteses supracitadas temos que a sintaxe externa é processada pela via ventral e dorsal, sendo que a rede anterior codifica processos combinatórios mais simples, enquanto o circuito posterior representa o substrato neurobiológico de arranjos sintáticos complexos, cuja ativação ocorre principalmente na porção posterior (BA 44), localizado na área de Broca. Os NE estão enterrados na área F5 que corresponde a porção (BA 44), no córtex cerebral humano, ambas as regiões apresentam um certo grau de homologia estrutural e funcional. A semelhança morfofuncional perpassa pela codificação de movimentos gestuais, assim como pela produção de sons vocais em símios

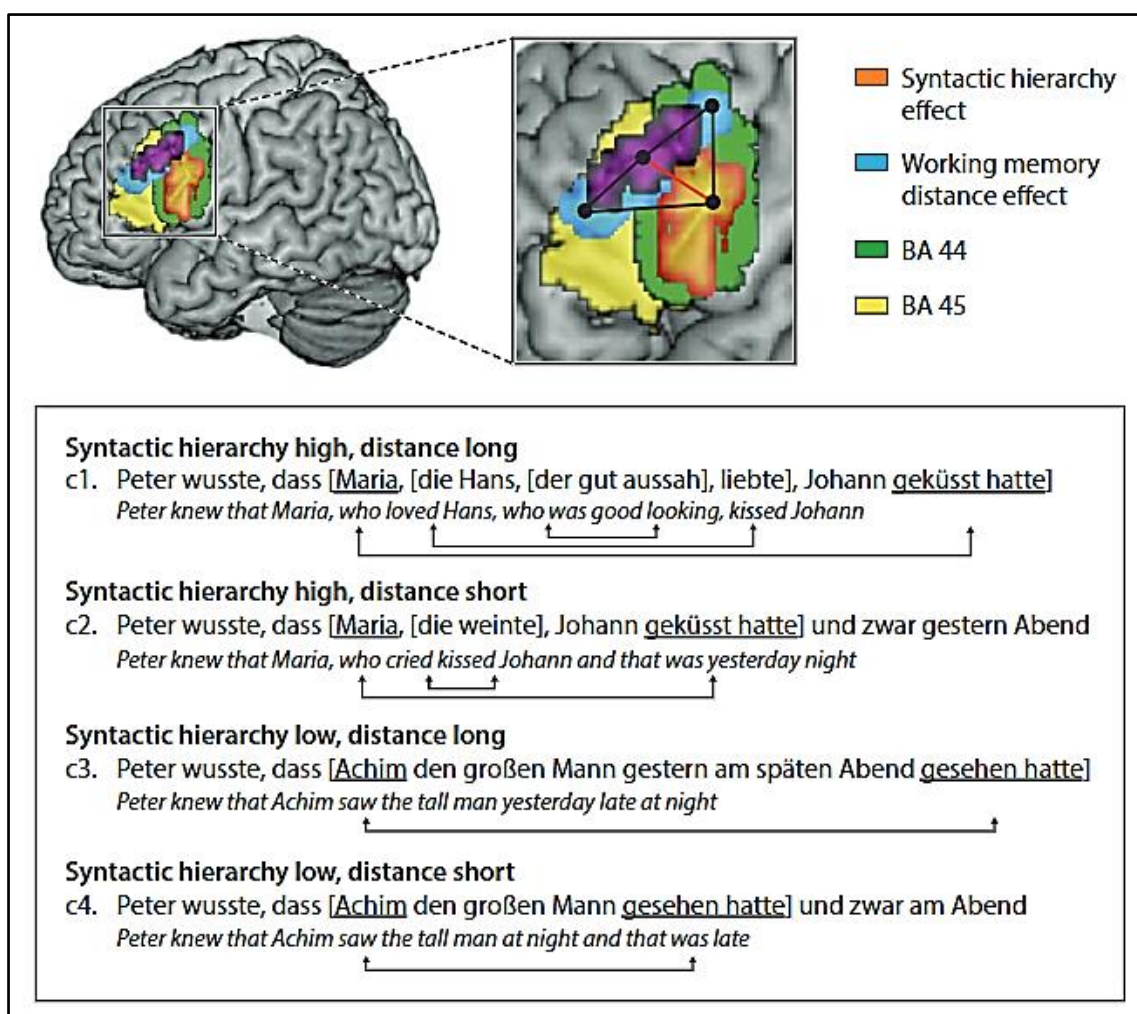
²¹⁷ Trecho original: “From an evolutionary standpoint, therefore, asymmetry in area 44 may be associated with the production of gestures accompanied by vocalizations in great apes, an ability that eventually selected for the development of speech systems in modern humans and perhaps generated more cortical folding in the IFG, leading to expansion of Brodmann’s area 45 in the human brain. Whatever the function of area 44 in great apes, our finding that these species show a human-like asymmetry not only in posterior (such as the planum temporale) but also in frontal regions, indicates that the origin of asymmetry in language-related areas of the human brain should be interpreted in evolutionary terms rather than being confined to the human species”.

²¹⁸ Trecho original: “[...] the neuroanatomical substrates for left hemisphere dominance in speech production were evident at least five million years ago and are not unique to hominid evolution”.

²¹⁹ Trecho original: “[...] the development of speech determined in humans an enormous expansion of the oral fields of areas homologous to F4 and F5. This expansion is reflected in part by the increase in the lower part of human area 6 (for executive aspects of speech) and even more by areas 44 plus 45 (for their more cognitive functions)”.

que podem ter colaborado com a formação das bases neurobiológicas da fala em humanos. Afinal, é possível que o desenvolvimento da comunicação gestual e acústica tenha contribuído com a expansão cortical da área (BA 45), responsável por processos semânticos e (BA 44), correlacionada com processos sintáticos. A seguinte imagem ilustra as áreas corticais recrutadas durante o processamento de informações linguísticas combinadas em diferentes sequências.

Figura 33 - Ativação cortical do processamento semântico de sentenças hierarquicamente embutidas.



Fonte: Friederici, (2017, p. 48). Vista lateral do hemisfério esquerdo do córtex cerebral e áreas ativadas segundo o escaneamento realizado com fMRI. O cluster em roxo indica o efeito da interação psicofisiológica no sulco frontal inferior esquerdo que está enterrado nas áreas (BA 44) ilustrado em verde e (BA 45), na tonalidade amarela. A cor laranja ilustra a região ativada mediante a codificação de diferentes estruturas sintáticas que levam em consideração a distância dos arranjos sintáticos exemplificados nas sentenças (C1, C2, C3, C4). A rede composta por linhas pretas e vermelha (maior frequência de ativação), alude a probabilidade de conexões recíprocas entre diferentes populações neurais (pontos pretos), dentro de um mesmo sítio cortical. No córtex pré-frontal está a zona colorida em azul que representa o sistema de memória de trabalho específico para a sintaxe.

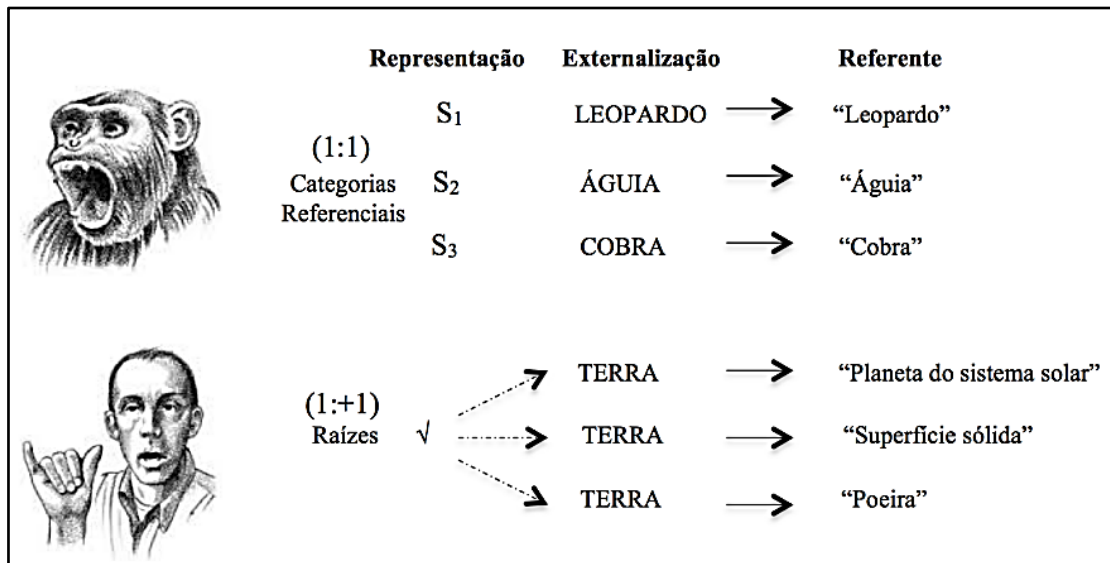
É notório que a capacidade de articulação acústica dos animais é limitada em relação aos humanos. Por exemplo, o canto dos pássaros possui notas que podem ser combinadas em sequências específicas que compõem uma melodia que altera a força da mensagem, mas não seu conteúdo (Berwick et al., 2011). A habilidade de combinar pequenas notas para salientar diferentes mensagens em vez de significados *per se*, é conhecida como sintaxe fonológica (Marler, 1970). Além da habilidade comunicativa dos pássaros cabe citar que:

“Cada espécie de macaco tem seu próprio repertório de cantos inatos, enquanto qualquer grupo de grandes símios – bonobos, chimpanzés, gorilas e orangotangos – pode ter um repertório limitado de gestos manuais comunicativos que, em parte, variam de grupo para grupo. Isso sugere que alguns de seus gestos foram “inventados” e aprendidos, algo que não é verdade para os chamados dos macacos. No entanto, o repertório de gestos é bastante limitado e não apresenta indícios de sintaxe. Além disso, quando macacos em cativeiro são ensinados a usar “linguagem”, eles não estão realmente usando a linguagem, pois seu “vocabulário” é limitado e eles não têm senso de sintaxe”²²⁰ (Arbib, 2012, p. 150, aspas do autor).

Em outras palavras, primatas não humanos nascem com um conjunto determinado de sons pré-adaptados que servem para estabelecer uma comunicação rudimentar, quer dizer, transmitem mensagens com sentidos vitais como localizar um alimento, sinalizar a presença de uma presa ou de uma ameaça, além de servir ao propósito da reprodução sexual. De modo geral, tanto a comunicação acústica quanto a realização de gestos icônicos por símios, possui uma denotação rígida, isto é, são estabelecidos essencialmente por uma relação de um-para-um, ou seja, um som e um sentido concreto ou um gesto e um objeto concreto (Tannert e Byrne, 1996; Douglas e Moscovice, 2015).

²²⁰ Trecho original: “Each species of monkey has its own small repertoire of innate calls, whereas any group of great apes—bonobos, chimpanzees, gorillas, and orangutans—may have a limited repertoire of communicative manual gestures that in part varies from group to group. This suggests that some of their gestures have been “invented” and learned, something that is not true for monkey calls. Nonetheless, the repertoire of gestures is quite limited and shows no evidence of syntax. Moreover, when captive apes are taught to use “language”, they are not really using language since their “vocabulary” is limited and they have no sense of syntax”.

Figura 34 - Comunicação acústica e gestual do símio e do humano.



Fonte: Nobrega, (2018, p. 98). As categorias referencias no símio ocorrem de um-para-um (1:1). Por exemplo, o sistema de comunicação sonora em primatas representado por (S₁), corresponde a um código acústico que ao ser externalizado faz referência ao animal Leopardo. O som (S₂), assim como (S₃), possuem um referencial único, ou seja, representa uma classe específica de entidades (Águia ou Cobra). Em contrapartida, tanto a comunicação gestual quanto a vocalização da linguagem humana apresentam um caráter polissêmico, isto é, um mesmo ato comunicativo pode ser associado a diversos conteúdos. Desse modo, as categorias referências em humanos apresentam raízes (√) que podem ser associadas a mais de um elemento, ou seja, apresentam uma correspondência de um-para-muitos (1:+1). A externalização do conceito de terra pode ser associado a diferentes referentes como “Planeta do sistema solar”, “Superfície sólida” ou “Poeira”.

Em suma, assim como a comunicação acústica entre primatas não humanos é pré-determinada por fatores genéticos segundo as necessidades adaptativas, a transmissão de mensagens pela via gestual das mãos também se restringe a sentidos práticos de sobrevivência. Logo, ambos os canais de comunicação são caracterizados pela sua função objetiva, isto é, transmitem mensagens com finalidades específicas. As fotografias realizadas no zoológico de São Francisco na Califórnia ilustram as inferências:²²¹

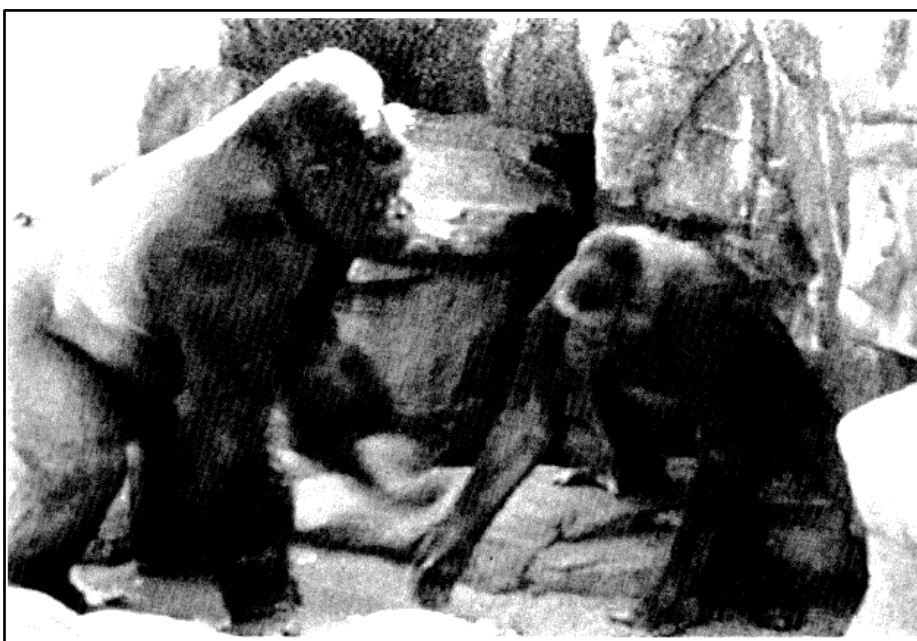
²²¹ Sugerimos o filme indicado pelo linguista norte americano Thomas Bever (1939), durante o curso “Language, Mind, and Brain”, realizado na modalidade on-line pela Universidade de Arizona em 2019. “Teaching Sign language to the chimpanzee: Washoe”. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OUwOvF7TqgA>. Acesso em 06 set. 2022. O vídeo mostra o processo de aprendizagem da comunicação gestual pelo chimpanzé. Segundo Terrace e colaboradores (1979), macacos conseguem aprender símbolos acústicos e gestuais isolados, mas não dispõem de um mecanismo de organização sintática ou semântica.

Figura 35 - Comunicação manual entre gorilas. Tocando outro animal.



Fonte: Tanner e Byrne, (1996, p. 168). Gorila tocando outro animal com as mãos com sentido de “você”.

Figura 36 - Comunicação manual entre gorilas. Balançando as mãos.



Fonte: Ibidem (1996, p. 169). Gorila balançando as mãos de baixo para cima com sentido de “venha”.

Apesar da comunicação acústica e manual dos animais apresentarem habilidades restritas, o grupo de pesquisadores de Parma sugere que tais capacidades podem ter colaborado com a evolução dos substratos

neurobiológicos da linguagem humana. Nesse sentido, vale citar alguns trechos que remetem a um desenvolvimento gradual da comunicação gestual para a orofacial, ou seja, a articulação da linguagem falada.

“Os gestos dos primatas que provavelmente foram usados pela primeira vez para comunicação pessoa a pessoa (diferente dos sinais que são direcionados a “todos” e não a um receptor específico) são os orofaciais. A favor dessa visão estão os seguintes fatos: os movimentos orofaciais são usados para comunicação por macacos, símios e humanos, e nem macacos nem humanos usam gestos manuo-braquiais como sua principal forma natural de comunicação. [...]. A alternância aberto-fechada da mandíbula que é típica da comunicação orofacial dos macacos (‘lábios’, ‘línguas’) parece persistir em humanos onde forma o ‘quadro’ silábico na produção da fala. A fala foi, portanto, uma evolução direta dos gestos orofaciais”²²² (Rizzolatti e Arbib, 1998, p. 192 – 193, parênteses e aspas do autor).

Ao comparar a comunicação braquio-manual e orofacial os autores sugerem que:

“[...] em certo estágio, evoluiu um sistema de comunicação braquio-manual complementando o oro-facial. Este desenvolvimento modificou muito a importância da vocalização e seu controle. Enquanto durante a fase orofacial fechada, os sons poderiam acrescentar muito pouco à mensagem gestual (por exemplo, gesto orofacial 'tenha medo'; gesto orofacial mais vocalização 'tenha mais medo'), sua associação com gestos permitiu-lhes assumir o caráter mais aberto e referencial que os gestos braquiomanuais já haviam alcançado. Um objeto ou evento descrito gestualmente (como, objeto grande – grande gesto dos braços e objeto pequeno – pequena abertura dos dedos) poderia agora ser acompanhado por vocalização. Se sons idênticos fossem constantemente usados para indicar elementos idênticos (como objeto grande – grande abertura da boca, vogal ‘a’ e objeto pequeno – pequena abertura da boca, vogal ‘i’), um vocabulário primitivo de sons

²²² Trecho original: “The gestures of primates that were most likely to be first used for person-to-person communication (as distinct from signals that are directed to ‘everybody’, rather than to a specific receiver) are the oro-facial ones. In favor of this view are the following facts: oro-facial movements are used for communication by monkeys, apes and humans, and neither monkeys nor humans use manuo-brachial gestures as their main natural way to communicate [...]. The open–close alternation of the mandible that is typical of oro-facial communication of monkeys (‘lipsmacks’, ‘tonguesmacks’) appears to persist in humans where it forms the syllabic ‘frame’ in speech production. Was speech, therefore, a direct evolution of oro-facial gestures”.

significativos pode começar a se desenvolver”²²³ (Ibidem, 1998, p. 193, parênteses e aspas do autor).

Os pesquisadores concluem da seguinte forma:

“Uma consequência importante desse novo uso funcional da vocalização foi a necessidade de seu controle habilidoso. No sistema de comunicação orofacial, a adição de um som tinha apenas uma valência emocional que simplesmente reforçava o significado transmitido pela expressão facial; sua execução precisa tinha uma importância relativa. Portanto, a vocalização poderia permanecer sob o controle do antigo sistema localizado nas áreas mediais do cérebro. A situação mudou radicalmente quando os sons adquiriram um valor descritivo e, portanto, tiveram que permanecer os mesmos em situações idênticas e, além disso, tiveram que ser imitados quando emitidos por outros indivíduos. Esses novos requisitos não puderam ser atendidos pelos antigos centros de vocalização emocional. Essa nova situação provavelmente foi a causa do surgimento da área de Broca humana a partir de um precursor semelhante ao F5 que já possuía propriedades de espelho, controle dos movimentos orolaringeos e, além disso, uma ligação estreita com o córtex motor primário adjacente. A pressão evolutiva para a emissão sonora mais complexa (combinatória) e a possibilidade anatômica para ela foram, assim, os elementos que moveram a linguagem de suas origens manuo-braquiais para a emissão sonora. Os gestos manuais foram perdendo progressivamente sua importância, ao passo que, ao contrário, a vocalização adquiriu autonomia, até que a relação entre a comunicação gestual e vocal se inverteu e o gesto tornou-se um fator puramente acessório da comunicação sonora. Nesse momento o discurso decolou”²²⁴ (Ibidem, 1998, p. 193, parênteses do autor).

²²³ Trecho original: “[...] at a certain stage, a brachio-manual communication system evolved complementing the oro-facial one. This development greatly modified the importance of vocalization and its control. Whereas during the closed oro-facial stage, sounds could add very little to the gestural message (for example, oro-facial gesture ‘be scared’; oro-facial gesture plus vocalization ‘be more scared’), their association with gestures allowed them to assume the more open, referential character that brachiomanual gestures had already achieved. An object or event described gesturally (such as, large object – large gesture of the arms, and small object – tiny opening of the fingers) could now be accompanied by vocalization. If identical sounds were constantly used to indicate identical elements (such as, large object – large opening of the mouth, vowel ‘a’, and small object – tiny opening of the mouth, vowel ‘i’), a primitive vocabulary of meaningful sounds could start to develop”.

²²⁴ Trecho original: “An important consequence of this new functional use of vocalization was the necessity of its skillful control. In the oro-facial communication system, the addition of a sound had only an emotional valence that simply reinforced the meaning conveyed by the facial expression; its precise execution had a relative importance. Therefore, vocalization could remain

Tendo em vista as hipóteses supracitadas, parece pertinente afirmar que os pesquisadores de Parma argumentam por uma emergência gradual da linguagem falada que teve como base a comunicação gestual. Interpretando a mesma inferência a partir da perspectiva das neurociências, temos que os circuitos neurais recrutados para a comunicação gestual foram cooptados para a articulação da linguagem falada. No entanto:

“[...] a linguagem humana (assim como algumas formas diádicas de comunicação dos primatas) evoluiu de um mecanismo básico que não estava originalmente relacionado à comunicação: a capacidade de reconhecer ações”²²⁵ (Rizzolatti e Arbib, 1988, p. 193, parênteses do autor).

Nessa perspectiva, o sentido de uma ação realizada com movimentos manuo-braquiais pode ser recuperado no repertório sensório motor no córtex cerebral do observador da ação. Ou seja, a representação motora de uma ação codificada pelo circuito de NE no córtex pré-motor do símio estabeleceu um canal de reconhecimento gestual entre um agente e um observador. É importante lembrar que para perceber o sentido de um determinado comportamento realizado por outro primata não humano é necessário possuir a representação sensório-motora de uma ação semelhante no córtex do animal observador. Em suma, conforme os gestos manuais foram sendo articulados com sons vocálicos, a rede de NE multimodais passou a codificar gestos enunciativos que ao possuírem uma representação internalizada no sistema motor propiciou desenvolver um canal de reconhecimento acústico entre um símio emissor e um receptor.

under the control of the old system located in the brain medial areas. The situation changed radically when sounds acquired a descriptive value and thus had to remain the same in identical situations and, in addition, had to be imitated when emitted by other individuals. These new requirements could not be fulfilled by the ancient emotional vocalization centers. This new situation was most likely to be the cause of the emergence of human Broca's area from an F5 like precursor that already had mirror properties, a control of oro-laryngeal movements and, in addition, a tight link with the adjacent primary motor cortex. The evolutionary pressure for more complex (combinatorial) sound emission, and the anatomical possibility for it, were thus the elements that moved language from its manuo-brachial origins to sound emission. Manual gestures progressively lost their importance, whereas, by contrast, vocalization acquired autonomy, until the relation between gestural and vocal communication inverted and gesture became purely an accessory factor to sound communication. At this point speech took off”.

²²⁵ Trecho original: “[...] human language (as well as some dyadic forms of primate communication) evolved from a basic mechanism that was not originally related to communication: the capacity to recognize actions”.

A correlação estrutural e funcional entre a comunicação gestual e acústica motivou Glenberg e Gallese (2012), a postular a teoria da linguagem baseada em ação. Segundo os autores, o mecanismo de organização hierárquica da linguagem (sintaxe externa), se assemelha a estruturação sequencial do controle motor. Por exemplo, “[...] (os atos motores que compõem a ação de beber) também são usados para produzir o controle hierárquico sobre os atos motores seriais na produção da fala”²²⁶ (Glenberg e Gallese, 2012, p. 911, parênteses do autor). Os pesquisadores sugerem que os NE desempenham um papel funcional na organização de sentenças de ação:

“O MM [mirror mechanism] tem uma organização hierárquica. Em um nível alto da hierarquia (e anterior no córtex pré-motor Rizzolatti e Craighero, 2004) estão as intenções de ação, como agarrar para comer. Em um nível inferior, essas intenções são realizadas pela integração de sequências de atos motores relacionados ao objetivo, como agarrar, segurar, trazer, colocar na boca e as diferentes “palavras” de um “vocabulário motor” (Rizzolatti et al., 1988) e obter “sentenças de ação” intencionais diferentes e paralelas”²²⁷ (Ibidem, 2012, p. 907, parênteses e aspas do autor).

Nessa perspectiva, o encadeamento de movimentos motores em uma determinada sequência está em consonância com o propósito geral da ação. Ou seja, a organização hierárquica de uma sentença de ação auxilia na previsão das possibilidades de interação entre um agente e um objeto. Por exemplo, a ação de beber água de um copo requer uma ordem serial de atos motores, quer dizer, existem programas neuromotores que determinam as instruções musculares do estado inicial ao estágio final da ação. Além do mais, regras semelhantes a uma sequência de gestos que configuram uma sentença de ação podem ser empregadas para atividades equivalentes, como beber chá de uma xícara. Vale exemplificar o passo a passo dos movimentos necessários para realizar a ação de beber água de um copo:

²²⁶ Trecho original: “[...] (the motor acts composing the action of drinking) is also used to produce hierarchical control over serial motor acts in speech production”.

²²⁷ Trecho original: “The MM has a hierarchical organization. At a high level of the hierarchy (and anterior in pre-motor cortex Rizzolatti and Craighero, 2004) are action intentions, such as grasping-to-eat. At a lower level, these intentions are realized by inte-grating sequences of goal-related motor acts, such as grasping, holding, bringing, placing in mouth e the different “words” of a “motor vocabulary” (Rizzolatti et al., 1988) e to obtain different and parallel intentional “action sentences””.

“Regra 1. Estenda o braço em direção ao copo.

Regra 2. Abra a mão e coloque os dedos sobre o copo.

Regra 3. Feche a mão no copo.

Regra 4. Levante a mão e o braço.

Regra 5. Mova o antebraço para trás em direção ao corpo.

Regra 6. Levante o copo em direção à boca.

Regra 7. Beba do copo.

Regra 8. Abaixe o copo de volta à posição inicial na mesa.

Regra 9. Abra a mão e solte o copo.

Regra 10. Retorne o braço para a posição de repouso, estado 1.

A saída das regras pode ser representada pelo autômato de estado finito esboçado aqui:

(1) → (2) → (3) → (4) → (5) → (6) → (7) → (8) → (9) → (10)

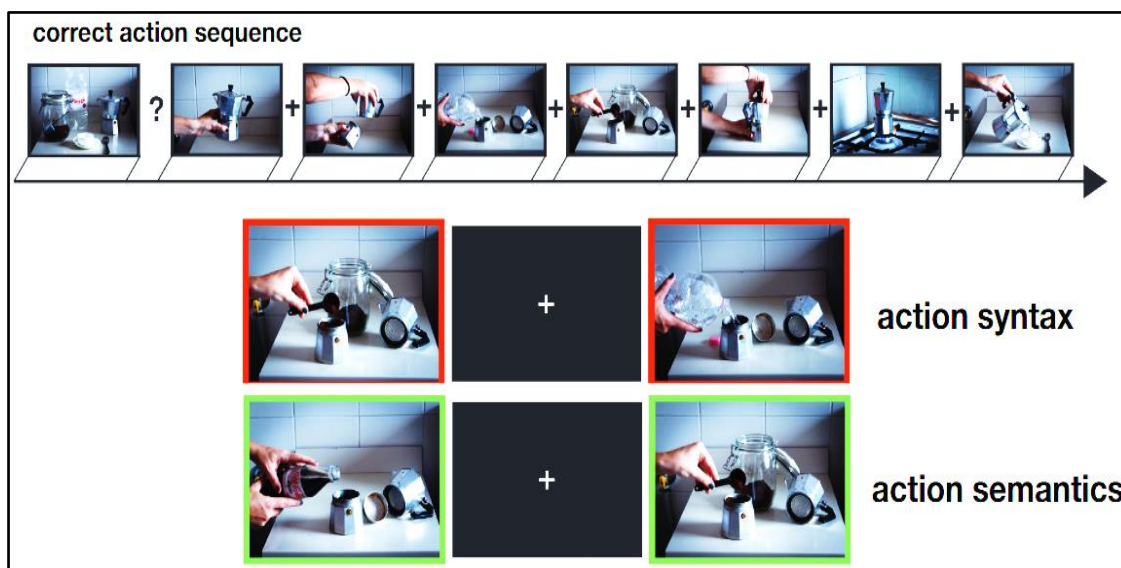
As regras devem ser executadas em sequência. Eles constituem uma sub-rotina que pode ser usada sempre que você pegar um copo de água. Esquemas de regras como o acima parecem ser automatizados no córtex motor dos primatas (Polit e Bizzi, 1978). Depois de aprender a sub-rotina você não precisa pensar nas etapas individuais; você simplesmente chama toda a rotina como uma entidade. Uma vez que uma tarefa é automatizada, ela funciona como uma entidade indivisível na qual você não acessa ou programa as etapas individuais (Goodman e Kelso, 1980)²²⁸ Lieberman (1984, p. 70 – 71).

Nesse caso, a organização sequencial de movimentos habituais ocorre de modo automático, isto é, não requer o processamento cognitivo de nível superior. Tal hipótese sobre a organização hierárquica do comportamento pode ser

²²⁸ Trecho original: “Rule 1. Extend arm toward tumbler. Rule 2. Open hand and place fingers about tumbler. Rule 3. Close hand on tumbler. Rule 4. Raise hand and arm. Rule 5. Move forearm back toward body. Rule 6. Raise tumbler toward mouth. Rule 7. Drink from tumbler. Rule 8. Lower tumbler back to initial position on table. Rule 9. Open hand and release tumbler. Rule 10. Return arm to rest position, state 1. The output of the rules can be represented by the finite-state automaton sketched here: (1) → (2) → (3) → (4) → (5) → (6) → (7) → (8) → (9) → (10). The rules must be executed in sequence. They constitute a subroutine that can be used whenever you pick up a water tumbler. Rule schema like the one above appear to be automatized in the primate motor cortex (Polit and Bizzi, 1978). Once you learn the subroutine, you do not have to think about the individual steps; you simply call out the whole routine as an entity. Once a task is automatized, it functions as an indivisible entity in which you do not access or program the individual steps (Goodman and Kelso, 1980)”.

exemplificada pelo hábito de andar de bicicleta ou dirigir um automóvel. Ambas as atividades são executadas mediante determinadas regras motoras instanciadas na organização estrutural e funcional de redes neurais. A próxima imagem também ilustra a execução hierárquica de movimentos que constituem uma sentença de ação, nesse caso, preparar um café:

Figura 37 - Sintaxe e semântica da ação.



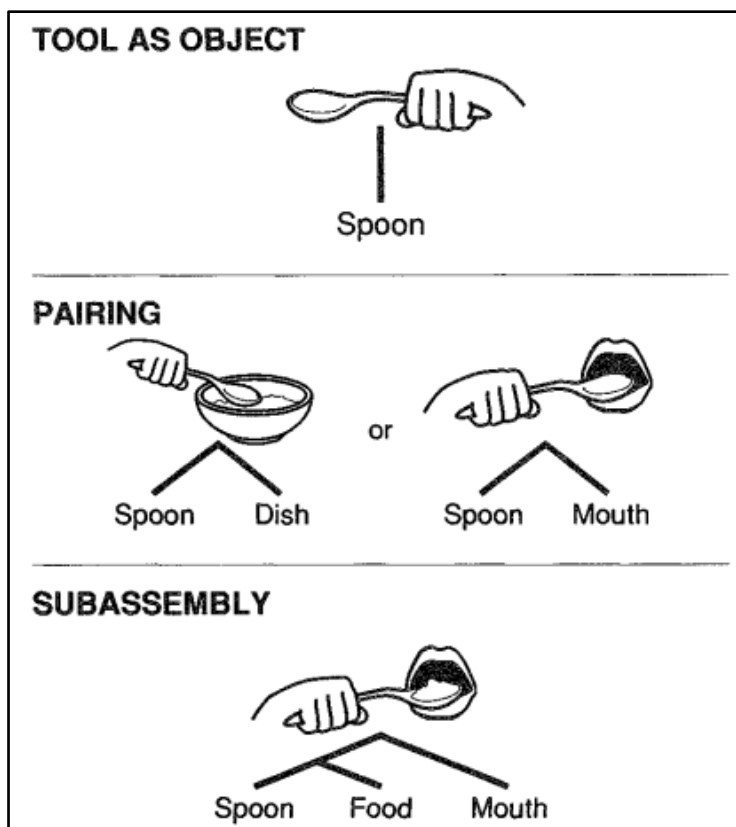
Fonte: Maffongelli et al., 2019, p. 4. A sequência de fotos na coluna horizontal superior ilustra as etapas motoras na preparação de um café. Os quadrados com borda vermelha foram retirados da sequência correta, porém a ordem está alterada (movimento sintático). Os quadrantes com as margens em verde também foram retirados da ordem certa e ilustram a manipulação semântica da sequência da ação. O experimento objetivou demonstrar como uma série de ações hierarquicamente correta pode ser alterada no nível sintático (estrutura linear das ações), e semântico (sentido construído pela ordem das ações).

Conforme a teoria elaborada por Glenberg e Gallese, (2012, p. 907), os mecanismos que ordenam a sequência de ações mediadas pelo córtex motor correspondem “[...] a espinha dorsal da sintaxe”²²⁹. De modo geral, os autores sugerem três níveis funcionais que caracterizam a sintaxe. A primeira corresponde a funcionalidade do sistema motor de organizar sequencialmente os movimentos que compõem uma ação efetiva, quer dizer, um comportamento que possui um sentido prático. A segunda função da sintaxe é combinar elementos linguísticos que viabilize a externalização de uma mensagem. Por fim, a sintaxe emerge dos programas neuromotores que codificam o controle hierárquico de ações linguísticas que ordenam a sequência da fala, da escrita ou

²²⁹ Treho original: “[...] the backbone of syntax”.

da comunicação gestual. Vale mencionar que apesar de empregar o termo “emerge”, os autores não deixam claro se a terceira função está correlacionada especificamente com o nível interno ou externo da sintaxe. Nesse caso, compreendemos que os programas neuromotores subjazem os fenômenos de concordância que são computados no nível cognitivo, ou seja, a terceira função corresponde a sintaxe interna.

Figura 38 - Desenvolvimento dos estágios da gramática da ação.



Fonte: Greenfield, (1991, p. 540). O desenho ilustra a organização hierárquica do movimento de comer usando uma colher. As ações são combinadas formando uma sequência ordenada de atos coerentes que correspondem as regras gramaticas da ação (planejamento motor). A correlação entre um objeto e outro antevê as possibilidades de manipulação entre os mesmos, propiciando assim, inferir o próximo movimento e o sentido da ação como um todo.

Vale salientar que as redes neurais que codificam a ordem sequencial de um movimento motor recuperam a intenção de uma ação através das possibilidades de interação entre uma ação e um objeto. A figura anterior exemplifica como a inter-relação entre uma colher e o prato prediz o próximo movimento, nesse caso levar a boca. Segundo Glenberg e Gallese, (2012), o substrato neurobiológico da sintaxe de ação fornece pistas sobre qual será a próxima palavra produzida acusticamente mediante um determinado contexto.

Os autores sugerem que ao ouvir a sentença “Dá a mamadeira à mamãe”, ao escutar a palavra “dá”, o estímulo aciona circuitos neurais recorrentes ao mesmo termo. Nesse caso, o córtex realiza cálculos probabilísticos sobre o próximo movimento linguístico com base na experiência (memória), e no contexto que permeia o universo do ouvinte. Diante disso, as bases neurofisiológicas da sintaxe de ação da qual supostamente inclui o circuito de NE, predispõe a intenção do falante mediante a representação motora da sequência de palavras, ou seja, as sentenças são compreendidas a partir da simulação linguística (Glenberg e Robertson, 1999).

“[...] que significa entender um termo linguístico como “beber”, ou seja, como a palavra é fundamentada. Primeiramente, o termo é fundamentado na ação (Glenberg e Kaschak, 2002), ou seja, o controlador para articulação da palavra “beber” está associado ou se sobrepõe ao controlador para a ação de beber. Além disso, o preditor para a articulação de “beber” está associado ao preditor para a ação de beber. Ou seja, parte do conhecimento do que significa “beber” consiste nas consequências esperadas do beber. Assim, em sua essência, o conhecimento linguístico é preditivo e fundamentado na percepção e na ação”²³⁰ (Glenberg e Gallese, 2012, p. 911, aspas do autor).

Nesse sentido, assim como a semântica estabelece correlação com o funcionamento cortical do sistema sensório-motor, os mecanismos sintáticos também perpassam pela ativação dos circuitos neurofisiológicos dos sistemas sensoriais e motores, ou seja, a sintaxe (no sentido amplo) é compreendida como sendo um sistema incorporado (Pulvermüller, 2010).

“Um exemplo bem conhecido é o caso das construções dêiticas, como “Aí está o restaurante que procurávamos” (Lakoff 1987). As reconstruções dêiticas se comportam de maneira diferente de quaisquer outras construções na linguagem. Eles começam com um demonstrativo dêítico em vez de um sujeito, têm uma gama restrita de

²³⁰ Trecho original: “[...] what it means to understand a linguistic term such as “drink”, that is, how the word is grounded. First, the term is grounded in action (Glenberg and Kaschak, 2002), that is, the controller for articulation of the word “drink” is associated with or overlaps with the controller for the action of drinking. In addition, the predictor for the articulation of “drink” is associated with the predictor for the action of drinking. That is, part of the knowledge of what “drink” means consists of expected consequences of drinking. Thus, in its essence, linguistic knowledge is predictive and grounded in perception and action”.

verbos que podem usar (basicamente apenas a cópula, e não no pretérito), e o verbo é seguido por um sujeito aparente que tem uma gama de restrições nele. Lakoff (1987) argumenta que essa padronização sintática única se deve à função única que ela tem: apontar linguisticamente as coisas no contexto de uso situado”²³¹ (Bergen, 2015, p. 15, aspas nossa, parênteses do autor).

De modo geral, a sintaxe incorporada salienta a concomitância estrutural e funcional entre a cognição, o cérebro, o corpo e o ambiente que interagem mediante o processamento sequencial de conteúdos linguísticos que abrange a sintaxe interna e externa. A propósito, os princípios hierárquicos que ordenam tanto o comportamento quanto a linguagem foram pesquisados no início dos anos cinquenta pelo psicólogo behaviorista Karl Lashley²³²:

“Há uma série de hierarquias de organização; a ordem dos movimentos vocais na pronúncia da palavra, a ordem das palavras na frase, a ordem das frases no parágrafo, a ordem racional dos parágrafos em um discurso. Não apenas a fala, mas todos os atos habilidosos parecem envolver os mesmos problemas de ordenação em série, até mesmo a coordenação temporal das contrações musculares em tais coisas como alcançar e agarrar. A análise dos mecanismos nervosos subjacentes à ordem nos atos mais primitivos pode contribuir, em última análise para a solução até mesmo da fisiologia da vida”²³³ (Lashley, 1951, p. 121- 122).

Segundo o pesquisador norte americano, os mecanismos encarregados pelo processamento sequencial da ação também são recrutados para o ato comunicativo do qual inclui as diferentes ordens citadas anteriormente. Portanto, os substratos neurobiológicos que estruturam a ordenação sequencial da

²³¹ Trecho original: “One well known example is the case of deictic there constructions, as in There’s the restaurant we were looking for (Lakoff 1987). Deictic there constructions behave differently from any other constructions in the language. They start with a deictic demonstrative there instead of a subject, have a restricted range of verbs they can use (basically just the copula, and not in the past tense), and the verb is followed by an apparent subject that has a range of restrictions on it. Lakoff (1987) argues that this unique syntactic patterning is due to the unique function it has: linguistically pointing things out in the situated context of use”.

²³² Karl Lashley, nascido 1890, falecido em 1958.

²³³ Trecho original: “There is a series of hierarchies of organization; the order of vocal movements in pronouncing the word, the order of words in the sentence, the order of sentences in the paragraph, the rational order of paragraphs in a discourse. Not only speech, but all skilled acts seem to involve the same problems of serial ordering, eve down to the temporal coordination of muscular contractions in such a moviment as reaching and grasping. Analysis of the nervous mechanisms underlying order in the more primitive acts may contribute ultimately to the solution even of the physiology of life”.

linguagem também comportam a organização hierárquica do comportamento. Nas palavras de Lashley (1951, p. 119) “[...] a sintaxe não é inerente às palavras empregadas ou à ideia a ser expressa. É um padrão generalizado imposto aos atos específicos à medida que eles ocorrem”²³⁴. Aliás, ao citar a importância de examinar os mecanismos neurais que subjazem os atos mais primitivos em busca de compreender os dispositivos responsáveis pela composição hierárquica das ações e da linguagem, é oportuno mencionar a correlação entre a produção de ferramentas de pedra lascada e o desenvolvimento da cognição linguística, em especial da sintaxe externa. As primeiras evidências sobre a correlação entre o controle sequencial de movimentos executados mediante a fabricação de ferramentas de pedra e suas possíveis influências sobre o desenvolvimento da cognição linguística procedem dos trabalhos de Holloway (1969), e Gowlett (1984):

“Voltando às questões de sintaxe, regras e atividades concatenadas [...] quase qualquer modelo que descreve um processo de linguagem também pode ser usado para descrever a criação de ferramentas. Isso não é surpreendente. Ambas as atividades são concatenadas, ambas têm regras rígidas sobre a serialização das atividades unitárias (a gramática, a sintaxe), ambas são sistemas hierárquicos de atividade (como qualquer atividade motora), e ambas produzem configurações arbitrárias que passam a fazer parte do ambiente, seja temporariamente ou permanentemente”²³⁵ (Holloway, 1969, p. 53, parênteses do autor).

Cabe esclarecer que as hipóteses funcionais sugeridas pelo grupo de Parma sobre o substrato anatomofuncional dos NE encontrados no córtex de símios e do humano, deixam uma lacuna evolutiva entre o animal e o humano

²³⁴ Trecho original: “[...] syntax is not inherent in the words employed or in the idea to be expressed. It is a generalized pattern imposed upon the specific acts as they occur”.

²³⁵ Trecho original: “Returning to matters of syntax, rules, and concatenated activity [...], almost any model which describes a language process can also be used to describe tool-making. This is hardly surprising. Both activities are concatenated, both have rigid rules about the serialization of unit activities (the grammar, syntax), both are hierarchical systems of activity (as is any motor activity), and both produce arbitrary configurations which thence become part of the environment, either temporarily or permanently”.

que pode ser preenchida pelas pesquisas em neuroarqueologia²³⁶. Nesse sentido, vale apresentar algumas considerações gerais sobre o assunto.

O termo neuroarqueologia foi desenvolvido a partir dos trabalhos apresentados no simpósio “A mente sábia: a arqueologia encontra a neurociência”²³⁷, realizado em 2007 no Instituto McDonald de Pesquisa Arqueológica da Universidade de Cambridge, Inglaterra (Renfrew et al., 2008).

““Neuroarqueologia” no sentido amplo refere-se a qualquer aplicação da teoria e métodos da neurociência a questões arqueológicas. Isso inclui a interpretação de materiais arqueológicos em termos das operações cognitivas e substratos neurais que se pensa que implicam, bem como o estudo experimental de comportamentos arqueologicamente visíveis usando métodos da neurociência”²³⁸ (Stout e Hecht, 2015, p. 145, aspas do autor).

É comum encontrar na literatura a palavra Neuroarqueologia escrita com letra maiúscula, referindo assim ao sentido geral do termo que remete a arqueologia cognitiva processual, ou seja, investiga os efeitos pós-evolutivos da cognição com base no conhecimento interdisciplinar entre as neurociências e a arqueologia. Além disso, a Neuroarqueologia é fundamentada na Teoria do Engajamento Material (Malafouris 2004; Renfrew 2004), que investiga o papel da produção e manuseio de ferramentas na mediação do comportamento humano, assim como sua influência sobre o desenvolvimento da cognição e sobre os processos de sociabilidade. Por outro lado, a aparição do termo com letra minúscula sinaliza o sentido estrito do campo de pesquisa que objetiva compreender a evolução biocultural das habilidades cognitivas durante o período Paleolítico. Ou seja, a neuroarqueologia interpreta os materiais arqueológicos em termos de operações cognitivas e os substratos neurais que precederam os efeitos pós-evolutivos da cognição. Colocando em outras palavras, seu propósito “[...] é a possibilidade de vincular a cognição antiga a substratos neurobiológicos

²³⁶ As fontes utilizadas para a redação do tema da neuroarqueologia foram sugeridas em comunicação pessoal com o professor do Departamento de Linguística e Filosofia do Instituto de Tecnologia do Massachusetts, Shigeru Miyagawa, em 13 de setembro de 2022.

²³⁷ Título original: “The sábia mind: archaeology meets Neuroscience”.

²³⁸ Trecho original: ““Neuroarchaeology” in the broad sense refers to any application of neuroscience theory and methods to archaeological questions. This includes the interpretation of archaeological materials in terms of the cognitive operations and neural substrates they are thought to imply as well as the experimental study of archaeologically-visible behaviors using neuroscience methods”.

em evolução”²³⁹ (Stout e Hecht, 2015, p. 148). Como será examinado a diante, ambas as linhas de pesquisa estão em consonância com as teorias propostas pelo movimento da cognição incorporada.

É importante salientar que o diálogo interdisciplinar entre as neurociências e a arqueologia preenche a distância entre as pesquisas realizadas com símios e com humanos, tendo em vista que:

Estudos comparativos podem, assim, identificar especializações neurais humanas para linguagem, uso de ferramentas e cognição social que estão ausentes em chimpanzés, mas não quando ou sob quais condições durante os últimos 7 a 10 milhões de anos de evolução dos homínidos essas especializações surgiram. Como Wynn (2002) apontou, a arqueologia pode ajudar a preencher essas lacunas documentando a cronologia, geografia e o contexto para o surgimento de novos comportamentos nos 2,5 milhões de anos desde a primeira aparição de um registro de cultura material humana (Semaw 2000)”²⁴⁰ (Ibidem, 2015, p. 148).

Tendo em vista que a arqueologia trabalha essencialmente com registros materiais, enquanto as neurociências investigam principalmente os processos orgânicos do SNC, a interação humana com inúmeros artefatos ao longo da história evolutiva ficou relegada a um segundo plano de pesquisa sobre suas possíveis influências sobre o desenvolvimento da cognição como um todo. Essa aproximação pode ser um caminho para compreender o papel da cultura material sobre o desenvolvimento encefálico juntamente com a expansão das capacidades cognitivas da qual inclui a linguagem. Segundo o arqueólogo canadense Michael Brian Schiffer (1947)²⁴¹, considerado um dos fundadores da Arqueologia Comportamental:

“[...] a vida humana consiste em interações incessantes e variadas entre pessoas e uma miríade de tipos de coisas. Essas coisas são

²³⁹ Trecho original: “[...] the possibility of linking ancient cognition to evolving neurobiological substrates”.

²⁴⁰ Trecho original: “Comparative studies can thus identify human neural specializations for language, tool use and social cognition that are absent in chimpanzees but not when or under what conditions during the past 7–10 million years of hominin evolution these specializations emerged. As Wynn (2002) has pointed out, archaeology can help fill these gaps by documenting the chronology, geography, and context for the emergence of new behaviors in the 2.5 million years since the first appearance of a human material culture record (Semaw 2000)”.

²⁴¹ Michael Brian Schiffer, nascido em 1947, vivo)

chamadas de “cultura material” ou, melhor, artefatos (Rathje e Schiffer 1982). O que torna os humanos únicos, então, é que participamos de diversas interações com inúmeros tipos de artefatos no decorrer de nossas atividades diárias”²⁴² (Schiffer, 2002, p. 2, aspas do autor).

De modo geral, grande parte do trabalho publicado em neuroarqueologia também reconhecida como neurociência evolutiva (Stout e Chaminade 2007), parte do pressuposto que o desenvolvimento da cognição humana foi mediado pela produção e manuseio de utensílios cada vez mais sofisticados, refletindo assim uma coordenação estrutural e funcional entre o sistema sensorial (percepção), o sistema motor (ação) e a cognição, retomando assim a concepção de uma cognição incorporada. Nessa perspectiva, os neuroarqueólogos buscam “[...] estender o conceito de “mente” além dos limites convencionais da pele e crânio”²⁴³ (Ibidem, 2007, p. 157, aspas do autor). Afinal, considerando a interdependência entre a plasticidade cerebral, juntamente com o corpo e o ambiente que influenciam na organização estrutural e funcional da cognição, é plausível aceitar a inferência de Malafouris (2010) de considerar “[...] o próprio cérebro como um artefato cultural”²⁴⁴ (Stout e Chaminade 2007, p. 151). Tendo em vista tais conjecturas vale citar algumas hipóteses resultantes de pesquisas realizadas no campo da neuroarqueologia sobre a produção de ferramentas de pedra lascada e sua influência sobre o desenvolvimento da cognição linguística, em particular como o lascamento de pedra pode ter contribuído para a evolução dos substratos neurais da sintaxe de ação para a sintaxe da linguagem.

“A Idade da Pedra Inicial por si só abrange cerca de 90% (2,6-0,25 Ma) da pré-história humana e traça uma progressão tecnológica de simples lascas de pedra Oldowan para grandes ferramentas de corte Acheulianas habilmente moldadas (Stout 2011). Durante esse período, o tamanho do cérebro dos hominídeos quase triplicou, desde o extremo superior da faixa dos chimpanzés até o extremo inferior da faixa humana moderna. É razoável conjecturar que muitos aspectos distintos da

²⁴² Trecho original: “[...] human life consists of ceaseless and varied interactions among people and myriad kinds of things. These things are called “material culture” or, better, artifacts (Rathje and Schiffer 1982). What makes humans unique, then, is that we take part in diverse interactions with innumerable kinds of artifacts in the course of daily activities”.

²⁴³ Trecho original: “[...] extending the concept of “mind” beyond the conventional boundaries of skin and skull”.

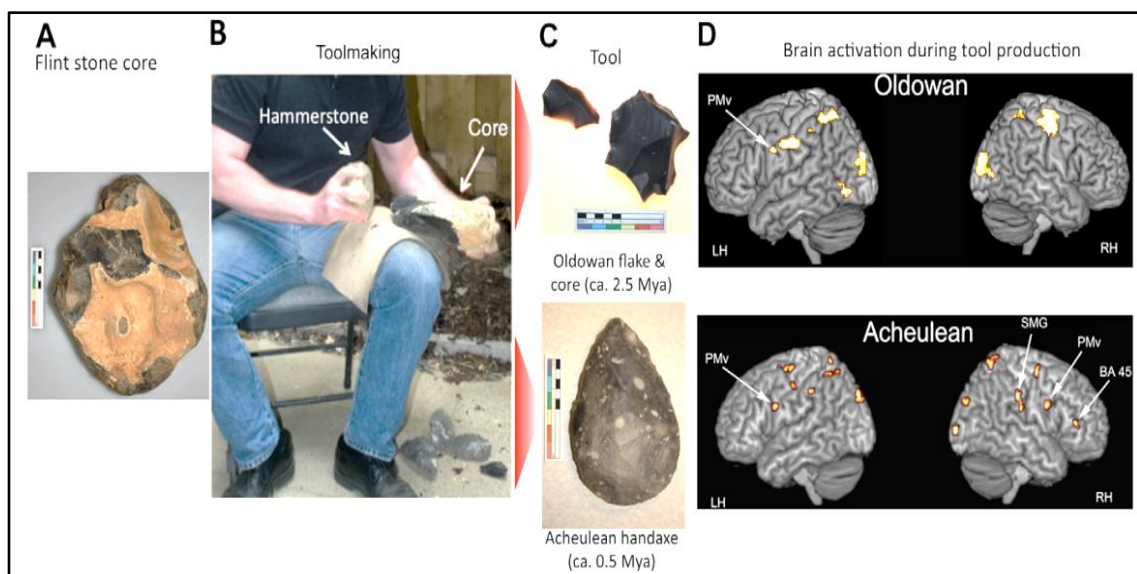
²⁴⁴ Trecho original: “[...] the brain itself as a cultural artifact”.

estrutura e função do cérebro humano moderno evoluíram durante esse período de expansão maciça do cérebro. A lascagem de Oldowan conhecida aproximadamente de 2,6 a 1,6 milhões de anos atrás é um processo simples de golpear lascas afiadas de um núcleo de pedra usando percussão direta. No entanto, mesmo essa tecnologia simples requer coordenação visomotora substancial, incluindo avaliação visual da morfologia central (por exemplo, ângulos de borda, localização de convexidades e concavidades) para selecionar alvos apropriados para percussão, bem como sensação proprioceptiva ativa e coordenação bimanual precisa para orientar golpes para pequenos alvos no núcleo. Após aproximadamente 1,7 milhão de anos atrás, a tecnologia Oldowan baseada em flocos começou a ser substituída pela tecnologia "Acheuliana", envolvendo a moldagem intencional de núcleos em grandes ferramentas de corte conhecidas como "pick", "handaxes" e "cutelos". Tal modelagem requer maior habilidade perceptivo-motora para controlar com precisão os padrões de fratura de cálculos e planos de ação mais complexos que relacionam remoções individuais de flocos entre si em busca de um objetivo distal. Por volta de 500.000 anos atrás, algumas ferramentas "Acheulianas tardias" exibem um alto nível de refinamento que envolve adicionalmente a preparação cuidadosa de bordas e superfícies conhecida como "preparação de plataforma", antes da remoção de lascas. A preparação da plataforma geralmente é feita na face oposta a uma remoção planejada de lascas: o núcleo é virado ("invertido") e um novo cabo de pedra-martelo e/ou pedra-martelo é selecionado e usado para lixar/micro-lascar a borda através de golpes leves e tangenciais. Esta operação preparatória introduz uma nova sub-rotina aos planos de ação de ferramentaria, aumentando sua profundidade hierárquica"²⁴⁵ (Stout e Hecht, 2015, p. 163, parênteses e aspas do autor).

²⁴⁵ Trecho original: "The Early Stone Age (ESA) alone encompasses roughly 90 % (2.6–0.25 Ma) of human prehistory and charts a technological progression from simple Oldowan stone chips to large, skilfully shaped Acheulean cutting tools (Stout 2011). During this period hominin brain size nearly tripled, from the high end of the chimpanzee range to the low end of the modern human range. It is reasonable to conjecture that many distinctive aspects of modern human brain structure and function evolved during this period of massive brain expansion. Oldowan flaking, known from approximately 2.6–1.6 million years ago, is a simple process of striking sharp cutting flakes from a stone core using direct percussion. However, even this simple technology requires substantial visuomotor coordination, including visual evaluation of core morphology (e.g. edge angles, location of convexities and concavities) in order to select appropriate targets for percussion, as well as active proprioceptive sensation and precise bimanual coordination to guide forceful blows to small targets on the core. After approximately 1.7 million years ago, flake-based Oldowan technology began to be replaced by "Acheulean" technology, involving the intentional shaping of cores into large cutting tools known as "picks", "handaxes" and "cleavers". Such shaping requires greater perceptual-motor skill to precisely control stone fracture patterns and

A progressão tecnológica e o crescimento volumétrico do cérebro de homínídeos durante o período inicial da idade da pedra motivaram os neuroarqueólogos a buscar esclarecimentos sobre a organização estrutural e funcional tanto do cérebro quanto da cognição. Ao combinar técnicas de neuroimagem com métodos experimentais de arqueologia, como o lascamento de pedra, é possível deduzir os correlatos neurais de comportamentos arqueologicamente relevantes em humanos modernos (Stout e Chaminade 2007), além dos substratos neuroanatômicos que subjazem a manipulação da produção de pedra lascada (Faisal et al., 2010), assim como a estrutura hierárquica do controle motor mediante a fabricação de ferramentas líticas (Stout, 2011). A seguinte imagem ilustra um trabalho experimental realizado em neuroarqueologia.

Figura 39 - Produção de ferramentas Oldowan e Acheulean e os correlatos neurobiológicos das ações.



Fonte: Faisal et al., (2010, p. 2). A imagem (A) mostra o núcleo de uma pedra de sílex (rocha sedimentar silicatada). Em (B), aparece o neuroarqueólogo golpeando com uma pedra de martelo (mão direita) o núcleo da sílex (mão esquerda) para retirar lascas da pedra. Inicialmente os golpes buscaram reproduzir os possíveis movimentos realizados na produção de ferramentas Oldowan e em seguida de artefatos Acheuliana. A imagem (C), na parte superior ilustra pedaços de pedras produzidas pela tecnologia Oldowan com datação aproximada de 2.5 Ma. A pequena

more complex action plans that relate individual flake removals to each other in pursuit of a distal goal. By 500, 000 years ago, some “Late Acheulean” tools exhibit a high level of refinement that additionally involves the careful preparation of edges and surfaces, known as “platform preparation”, before flake removals. Platform preparation is often done on the face opposite a planned flake removal: the core is flipped over (“inverted”) and a new hammerstone and/or hammerstone grip is selected and used to abrade/micro-flake the edge through light, tangential blows. This preparatory operation introduces a new subroutine to toolmaking action plans, increasing their hierarchical depth”.

lasca localizada na esquerda é utilizada como ferramenta de corte simples, enquanto o fragmento maior é descartado. Na parte inferior ainda em (C), está uma ferramenta de pedra produzida pela tecnologia Acheuliana, datada com cerca de 0.5 Ma. A imagem (D), revela as áreas corticais ativadas durante a produção das pedras com diferentes tecnologias. O exame utilizado com a técnica da fMRI foi realizada no cérebro do pesquisador durante a tarefa mostrada em (B). Ambas as formas de fabricação de ferramentas estão associadas à ativação do córtex pré-motor ventral esquerdo (PMv), a fabricação de ferramentas acheuliana ativa regiões adicionais no hemisfério direito, incluindo o giro supramarginal (SMG) do lóbulo parietal inferior, PMv direito, além da região homóloga ao hemisfério esquerdo que corresponde a área de Broca, formada pelo setor BA 44 e BA 45.

Vale acrescentar que a fabricação de ferramentas Oldowan aponta que circuitos neurais do cérebro moderno parecem estar apoiados em um mosaico de sistemas perceptivos-motores localizados nos córtices parieto-frontais primitivos. Ao interpretar o resultado da neuroimagem relacionada a técnica Acheulean é possível constatar que mais áreas corticais foram ativadas em comparação a Oldowan, principalmente na região frontal do cérebro. Tal conclusão é congruente com a observação de que a técnica Oldowan envolve movimentos mais simples, enquanto a tecnologia Acheulean requer golpes intencionais mais elaborados, recrutando assim uma maior contribuição do córtex frontal. A propósito, a cultura Acheuliana:

“[...] tem sido considerado um evento chave na evolução cognitiva humana, refletindo novas capacidades para a “imposição de forma arbitrária” e a presença de “modelos” mentais e/ou procedimentais mais complexos”²⁴⁶ (Faisal et al., 2010, p. 1, aspas do autor).

De modo sucinto, a neuroarqueologia pode fornecer evidências anatomofuncionais de uma possível sobreposição ou reutilização de redes neurais recrutadas inicialmente para a produção de ferramentas de pedras lascadas que passaram a servir ao controle motor da linguagem. Tal hipótese remete a perspectiva exaptacionista que sugere que os circuitos neurais responsáveis pela codificação sequencial da linguagem (sintaxe externa), podem ter servido anteriormente a outras funções como o controle motor das mãos, o domínio do trato vocal, além da capacidade da imitação vocal (Fitch, 2011).

“Parece bastante viável argumentar que ferramentas de pedra feitas com um padrão determinado pressupõem a linguagem simbólica. (Este

²⁴⁶ Trecho original: “[...] has been considered a key event in human cognitive evolution, reflecting new capacities for the “imposition of arbitrary form” and the presence of more complex mental and/or procedural “templates””.

é um argumento antigo, claro, e não exclusivo deste artigo, ou mesmo sem controvérsia). Mas minha afirmação é que qualquer modelo teórico que descreva a linguagem também descreve a fabricação de ferramentas de pedra. Ambos os processos utilizam um número limitado de unidades básicas que são combinadas em um número finito de maneiras (com referência a uma linguagem específica ou ferramenta específica), e há um conjunto de regras sobrepostas, ou sintaxe (gramática), sobre como as unidades se combinam e concatenam²⁴⁷ (Holloway, 1981, p. 290, parênteses do autor).

Nesse sentido, o autor estabelece uma analogia entre os mecanismos organizacionais e funcionais da sintaxe de ações, isto é, a coordenação sequencial dos movimentos motores necessários para produzir uma faca ou machadinha de pedra e a sintaxe linguística, ou seja, os arranjos hierárquicos que perpassam pelos movimentos da pronúncia vocal, a ordem das palavras em uma sentença escrita ou comunicada por meio de sinais motores, assim como o encadeamento do raciocínio pela via da linguagem. Segundo o arqueólogo e paleontólogo francês André Leroi-Gourhan (1911 – 1986)²⁴⁸, a sintaxe operativa estabelece o vínculo entre a técnica e a linguagem:

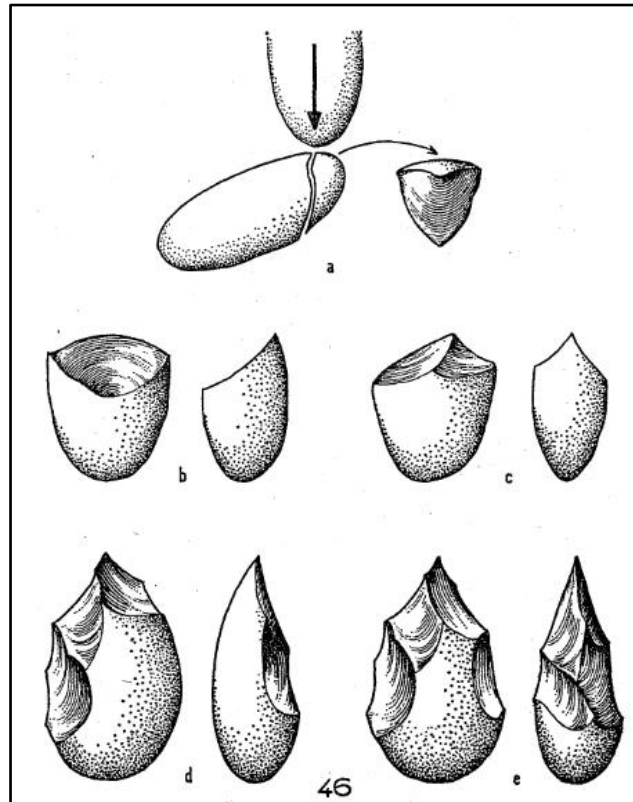
“A técnica é ao mesmo tempo gesto e ferramenta organizada em cadeia por uma verdadeira sintaxe que confere a uma série de operações sua fixidez e sua flexibilidade. A sintaxe operativa é proposta pela memória e surge entre o cérebro e o ambiente material.”²⁴⁹ (Leroi-Gourhan 1964, p. 164).

²⁴⁷ Trecho original: “It seems quite feasible to argue that stone tools made to a standard pattern presuppose symbolic language. (This is an old argument, of course, and not unique to this paper, or even without controversy). But my contention is that any theoretical model that describes language also describes stone tool making. Both processes utilize a limited number of basic units that are combined in a finite number of ways (with reference to a specific language or specific tool), and there is an over lying set of rules, or syntax (grammar), about how units combine and concatenate”.

²⁴⁸ André Leroi-Gourhan, nascido em 1911, falecido em 1986.

²⁴⁹ Trecho original: “La technique est à la fois geste et outil, organisés en chaîne par une véritable syntaxe qui donne aux séries opératoires à la fois leur fixité et leur souplesse. La syntaxe opératoire est proposée par la mémoire et naît entre le cerveau et le milieu matériel”.

Figura 40 - Sintaxe operativa aplicada na produção de uma ponta de pedra lascada.



Fonte: Leroi-Gourhan, (1964, p. 131). A figura no centro superior da imagem (letra a), mostra uma pedra com uma seta apontando para baixo que ilustra o movimento do primeiro golpe de uma pedra sobre a outra. A imagem correspondente a (letra b) mostra o resultado de duas lascas oriundas de (a). Identificado com a (letra c) o desenho revela um novo golpe na borda direita de ambas as lascas. A imagem no canto inferior esquerdo e direito (letra d-e) ilustram novos golpes sobre as bordas de ambas as pedras. A produção de uma ponta de pedra lascada requer uma organização de movimentos ordenados que são aplicados em ambos os lados. Basicamente a operação ilustrada envolveu um único tipo de gesto, que consiste em bater na borda do seixo a 90 graus.

A sugestão de Leroi-Gourhan (1964) de que a sintaxe operativa resulta de uma memória consolidada a partir da correlação entre o cérebro e o corpo circunscrito por um ambiente, salienta a hipótese de uma sintaxe incorporada. Aliás, a sintaxe de ação realizada na indústria lítica requer uma inteligência coerente, quer dizer, a produção de ferramentas de pedra exige uma sincronia entre o controle motor (sintaxe externa), o sentido da ação (semântica) e a intenção da mesma (objetivo geral). Curiosamente, a característica funcional dos NE abrange o controle motor das mãos e da boca, assim como o reconhecimento do sentido de uma ação ou de um som através do repertório de representações motoras codificadas por essa classe de neurônios. Além do mais, a hipótese estrutural e funcional de uma homologia entre o córtex motor em homínídeos e

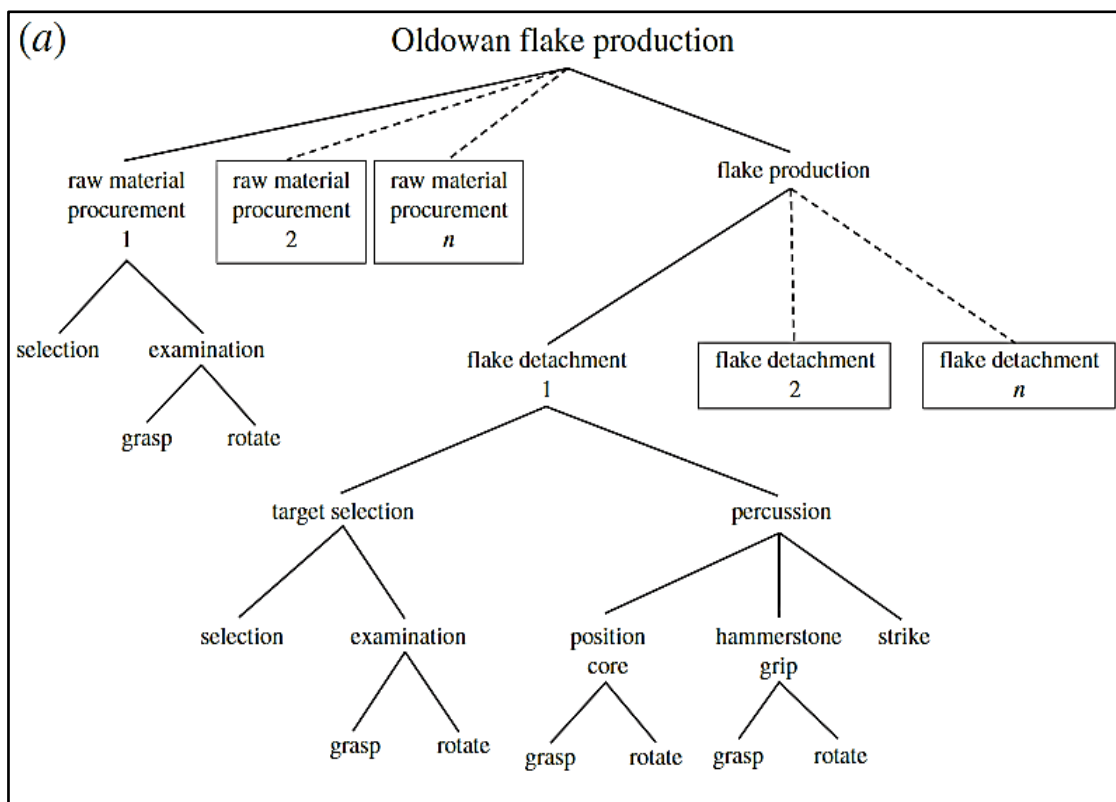
a área de Broca no cérebro moderno, enfatiza a teoria de que a linguagem pode ter cooptado os mecanismos neurofisiológicos do sistema motor responsável pelo controle das mãos. Segundo Steele e Uomini, (2009), a fabricação e manuseio de ferramentas líticas predominantemente por indivíduos destros (neandertais), possivelmente contribuiu para a especialização do hemisfério esquerdo para a linguagem. Em suma, as inferências anteriores podem ser complementadas com a seguinte citação:

“O uso da ferramenta fornece um excelente contexto experimental para investigar a analogia com a sintaxe linguística por várias razões. As ferramentas estendem o órgão efetor (a mão e o braço), e no uso de ferramentas complexas (definido por Johnson-Frey como uso de ferramentas que 'converte os movimentos das mãos em ações mecânicas qualitativamente diferentes'), as ferramentas fornecem um alcance maior de operações possíveis que podem ser alcançadas apenas com a capacidade inata de alcançar e agarrar da mão. Isso requer conhecimento semântico das funções das ferramentas individuais e um conjunto gerador de regras para seu uso efetivo. O uso de ferramentas complexas normalmente também requer uma ação bimanual coordenada assimétrica (na qual cada mão desempenha um papel complementar;) que foi considerado o eliciador mais confiável de destros em nível populacional em macacos africanos cativos. Ações coordenadas bimanuais assimétricas fornecem um contexto para incorporação hierárquica com as ações discretas, mas complementares de cada mão, precisando ser descritas em uma sintaxe de ação aninhada; enquanto longas sequências de tais ações organizadas para um objetivo maior também criam dependências de longo alcance (onde uma ação preparatória em uma etapa de tempo é significativa apenas em relação a outra ação que é executada em uma etapa de tempo posterior). Finalmente, há um extenso registro arqueológico de fabricação e uso de ferramentas de homínídeos que pode ser examinado em conjunto com a evidência anatômica fóssil do cérebro, mãos e trato vocal dos homínídeos em evolução para avaliar teorias da história evolutiva acoplada ou desacoplada de nossas capacidades humanas nos dois domínios”²⁵⁰ (Steele et al., 2012, p. 5, parênteses e aspas do autor).

²⁵⁰ Trecho original: “Tool use provides an excellent experimental context in which to investigate the analogy with linguistic syntax, for several reasons. Tools extend the effector organ (the hand and arm), and in complex tool use (defined by Johnson-Frey as tool use that ‘converts the

Cabe ilustrar através do diagrama de árvore a sequência de movimentos necessários para produzir ferramentas de pedra lascada.

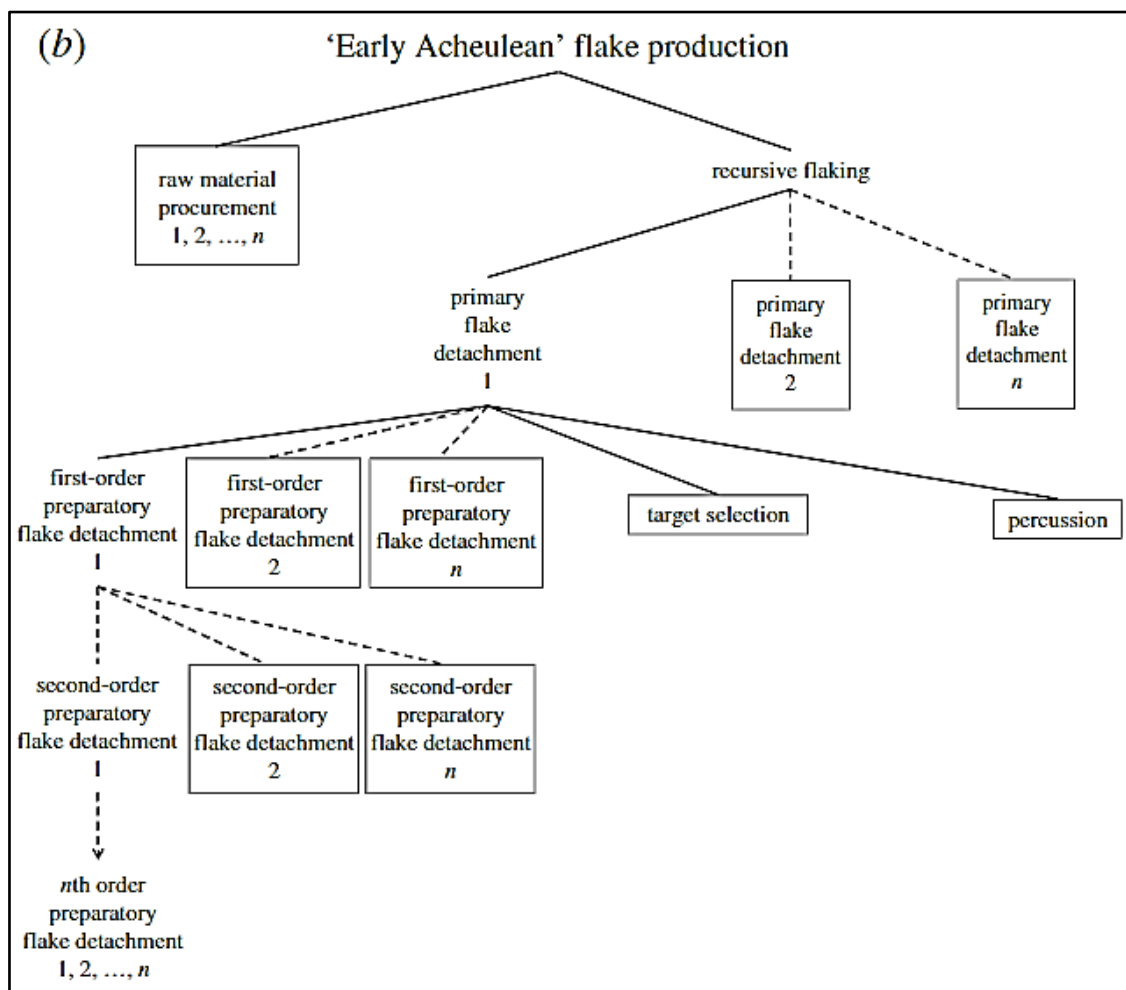
Figura 41- Hierarquia de ações executadas na indústria lítica Oldowan.



Fonte: Stout, (2011, p. 1052). As linhas conectam as ações subordinados com o componente superordenado que as instanciam (produção de uma lasca Oldowan). As linhas tracejadas indicam movimentos opcionais, enquanto os números sinalizam a duplicação de uma mesma ação. Por fim, os retângulos delimitam uma atividade. O diagrama de árvore ilustra como o nível superior (superordenado), que corresponde a intenção da ação, ou seja, o objetivo geral da atividade que é desenvolvida em etapas inferiores (subordinado), e que são ramificadas em categorias gestuais cada vez mais específicas.

movements of the hands into qualitatively different mechanical actions'), tools provide a greater range of possible operations than can be achieved with the innate reaching and grasping capability of the hand alone. This requires both semantic knowledge of individual tools' functions, and a generative set of rules for their effective use. Complex tool use typically also requires asymmetrical coordinated bimanual action (in which each hand plays a complementary role;), which has been found to be the most reliable elicitor of population level right-handedness in captive African apes. Asymmetrical bimanual coordinated actions provide a context for hierarchical embedding, with the discrete but complementary actions of each hand needing to be described in a nested action syntax; while long sequences of such actions organized towards a larger goal also create long-range dependencies (where a preparatory action at one time step is meaningful only in relation with another action that is executed at a later time step). Finally, there is an extensive archaeological record of hominin tool manufacture and use, which can be examined in tandem with the fossil anatomical evidence of the evolving hominin brain, hands and vocal tract to assess theories of the coupled or decoupled evolutionary history of our human capacities in the two domains".

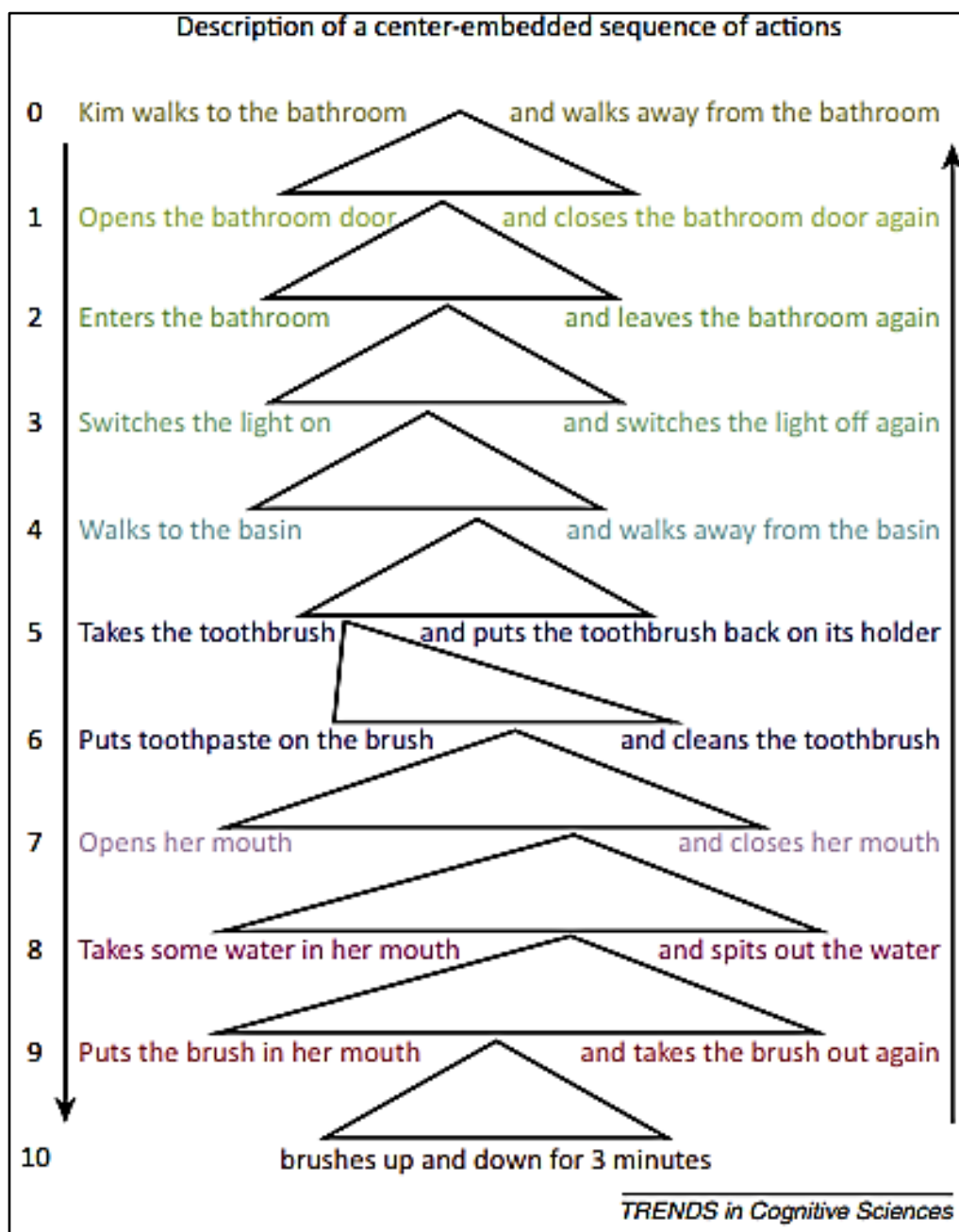
Figura 42- Hierarquia de ações executadas no início da indústria lítica Acheulean.



Fonte: Ibidem (2011, p. 1052). As linhas conectam as ações subordinadas com o componente superordenado que as instanciam (produção de uma lasca Acheulean). As linhas tracejadas indicam movimentos opcionais, enquanto os números sinalizam a duplicação de uma mesma ação. Por fim, os retângulos delimitam uma atividade. Diferente da técnica Oldowan, a recursividade de descamação da pedra aumenta o número de ações com potencial teórico de incorporar um número possivelmente ilimitado de subordinações (destacar uma lasca para preparar outra lasca e assim por diante).

Ao analisar a organização multinível das ações é possível inferir que o mecanismo sintático recruta o sistema sensorial, motor e cognitivo como um todo. A habilidade de combinar ações para atingir um determinado objetivo estimula a expansão do repertório sensorio motor em consonância com a finalidade da intenção da ação. Nessa perspectiva, os substratos neurobiológicos que subjazem a ordenação serial do controle motor podem incorporar novas sequências de ações em uma cadeia possivelmente ilimitada. A próxima imagem ilustra a sequência e a combinação de ações necessárias para realizar a limpeza dos dentes.

Figura 43 - Sequência de ações incorporadas em uma ação habitual.



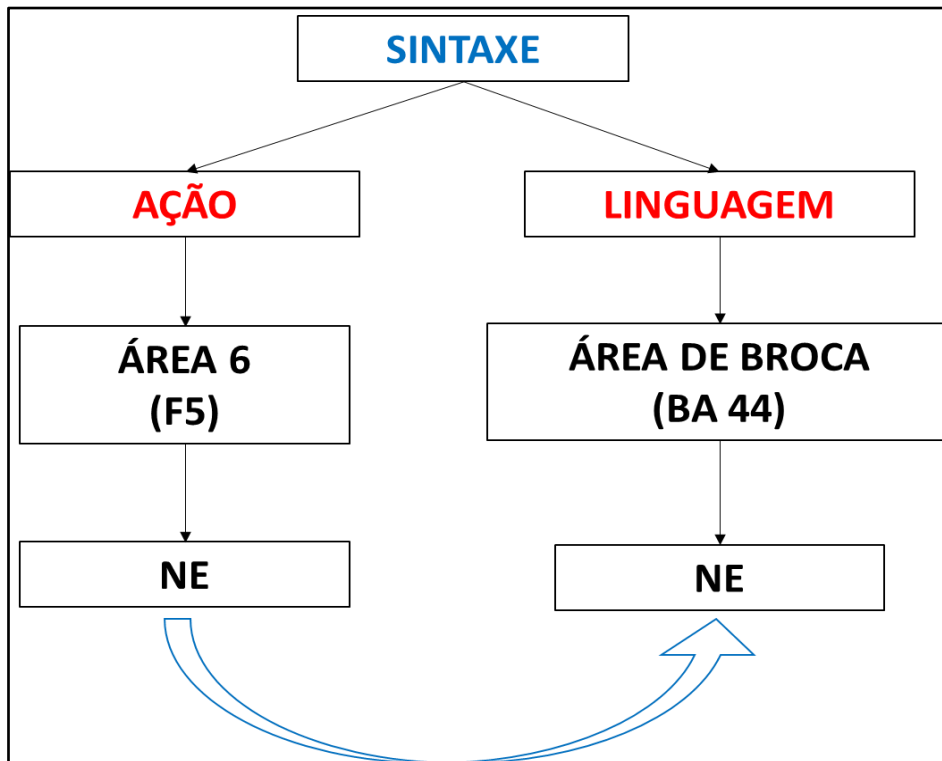
Fonte: Pulvermüller, (2014, p. 220). A imagem ilustra onze seqüências de ações complementares. A indexação das ações é representada por diferentes cores. Os triângulos indicam os elos de ligação entre as ações e os números no canto esquerdo sinalizam o nível de incorporação. Ambas as setas localizadas no canto esquerdo e direito ilustram a seqüência de ações. É importante mencionar que a ação como um todo pode não resultar como esperado caso um componente seja obstruído ou aparecer na ordem incorreta.

Recapitulando as hipóteses anteriores podemos compreender que a sintaxe se manifesta em dois vértices: o primeiro corresponde ao processamento cognitivo da linguagem (sintaxe interna), da qual os fenômenos de concordância gramatical não se restringem a ordem sequencial dos códigos linguísticos que são percebidos e produzidos no vértice externo da linguagem (sintaxe no sentido

amplo). Quando falamos, escrevemos ou gesticulamos com alguma parte do corpo para transmitir uma mensagem que foi elaborada simbolicamente, isto é, que recebeu um tratamento cognitivo, naturalmente nos expressamos por intermédio dos sistemas sensorial e motor que possuem características estruturais e funcionais que delineiam a forma como nos comunicamos. Portanto, os órgãos do sentido juntamente com os programas neuromotores em interação com o sistema cognitivo da linguagem capacita os seres humanos a comunicar um pensamento ou a intenção de uma ação por intermédio de uma cadeia de sons, símbolos gráficos ou gestos icônicos realizados em sequência.

A hipótese de que os circuitos neurais encarregados pela codificação sequencial de ações (sintaxe de ação), passou a ser recrutado para ordenar a serialidade da linguagem (sintaxe linguística), remete ao processo de exaptação neural. Tal inferência é embasada com base nas pesquisas sobre a homologia cortical entre o cérebro de símios e do ser humano (F5 e Broca), e que são complementados com os trabalhos em neuroarqueologia que busca evidenciar semelhanças no nível estrutural e funcional entre o substrato neuroanatômico recrutado mediante a fabricação manual de ferramentas líticas e a organização sequencial da linguagem falada. Tais pressupostos salientam a possibilidade da rede de NE estar correlacionada com a estrutura horizontal da linguagem (sintaxe externa), que requer uma sincronia funcional entre o sistema sensorial e motor.

Figura 44 - Exaptação neural da sintaxe de ação para a sintaxe da linguagem.



Fonte: Produção do próprio autor. O esquema ilustra a hipótese de que a sintaxe está correlacionada com a organização sequencial dos movimentos realizados para uma ação, assim como a sucessão de gestos realizados para a comunicação por meio da linguagem. A sintaxe de ação possui seu substrato neurobiológico na área 6 (setor F5), sendo este o local onde estão os circuitos de NE identificados no córtex cerebral de símios. Teoricamente os NE participam da codificação sequencial da práxis gestual (mãos e boca), que aos poucos passou a processar a organização serial da linguagem (sintaxe externa). A seta em azul representa o processo de exaptação dos NE da sintaxe de ação (área 6, setor F5), para a sintaxe da linguagem no sentido amplo (área de Broca, BA 44).

Finalmente, é importante mencionar dois problemas encontrados na literatura que emergem da correlação entre a sintaxe e os NE. O primeiro remete ao conceito de sintaxe que por um lado pode ser interpretado como a capacidade de combinar elementos motores (ações) ou linguísticos (palavras), em longas cadeias estruturadas sequencialmente. Nessa perspectiva os NE recrutados para mediar a organização serial do comportamento também ordenam a linearidade da linguagem. No entanto:

“Esse tipo de confusão terminológica e conceitual entre diferentes significados de organização hierárquica (interna vs sequencial) surge também em propostas sobre a origem evolutiva comum da linguagem e do sistema motor e das funções das áreas de Broca. Por exemplo, Fazio et al. (2009) sugeriram que a área de Broca pode ter se especializado tanto em computações sintáticas hierárquicas quanto em uma espécie de sintaxe motora que especifica a composição

hierárquica baseada em regras de atos motores simples em ações com um objetivo. Embora em princípio possível, o que essas teorias deixam totalmente sem especificação é o mecanismo pelo qual o SNE [sistema de neurônio espelho], como substrato neuronal compartilhado subjacente, pode ter evoluído sua função da capacidade mais rudimentar de computar informações hierárquicas sequenciais (em primatas) para a capacidade de computar relações hierárquicas não lineares como encontradas na sintaxe da linguagem (em humanos). Além disso, deixando de lado os problemas evolutivos, essas teorias não especificam como, em humanos, uma determinada classe de neurônios com propriedades percepto-motoras se torna ativa em resposta a informações hierárquicas sequenciais e não lineares, em que a primeira informação está disponível para os sentidos [sentidos corporais] e o último não [nível cognitivo]. Sem uma explicação clara desses dois problemas, tais hipóteses não podem ser traduzidas em previsões experimentais testáveis. Assim, podemos concluir que nem o processamento nem a aquisição de sintaxe (tanto ontogeneticamente quanto filogeneticamente) podem (até agora) ser rastreados até a atividade do SNE²⁵¹ (Tettamanti e Moro, 2012, p. 930, parênteses do autor).

O segundo problema corresponde ao processamento interno da sintaxe, ou seja, como os NE podem estar correlacionados com a codificação de informações linguísticas que são computadas no vértice cognitivo, ou seja, que não requer a participação ativa do sistema sensório-motor. Diante disso:

“[...] a inatingibilidade da sintaxe para os sentidos corporais é que a informação transportada pela negação sentencial não corresponde a

²⁵¹ Trecho original: “This sort of terminological and conceptual confusion between different meanings of hierarchical organization (internal vs sequential) emerges also in proposals on the common evolutionary origin of language and motor system and of Broca’s areas’ functions. For instance, Fazio et al. (2009) suggested that Broca’s area might have specialized both in hierarchical syntactic computations and in a sort of motor syntax that specifies the rule-based hierarchical composition of simple motor acts into actions with a goal. Although in principle possible, what these theories leave fully unspecified is the mechanism by which the MNS, as the underlying shared neuronal substrate, may have evolved its function from the more rudimentary capacity of computing sequential hierarchical information (in primates) to the capacity of computing non-linear hierarchical relations as found in language syntax (in humans). Furthermore, leaving the evolutionary problems aside, these theories do not specify how, in humans, a particular class of neurons with perceptuo-motor properties become active in response to both sequential and non-linear hierarchical information, whereby the former information is available to the senses and the latter not. Without a clear account of these two problems, such hypotheses cannot be translated into testable experimental predictions. Thus, we can conclude that neither the processing nor the acquisition of syntax (both ontogenetically and phylogenetically) can (so far) be traced back to the activity of the MNS”.

nenhum evento que possa ser percebido no mundo físico. Mais explicitamente, não há nada no mundo que incorpore a negação, por assim dizer: o mundo só pode ser feito de fatos positivos, isto é, afirmações. Por exemplo, se dissermos que o bolo não está na mesa, não há entrada sensorial que possa eliciar diretamente o conteúdo dessa frase, a menos que se diga que a entrada perceptiva pode derivar de um número potencialmente infinito de outros fatos que envolvem um bolo que não é “estar em uma mesa”. Se eu vejo uma mesa vazia, isso não pode de forma alguma me informar que não há um bolo na mesa, porque há infinitas frases sobre fatos negativos que seriam deriváveis do mesmo contexto, como O carro não está na mesa. Por sua vez, quando de fato vejo um bolo sobre uma mesa, a informação sensorial sobre o estado do bolo é unívoca. Portanto, o significado de O bolo não está na mesa não pode ser inteiramente derivado de estímulos perceptivos. [...] Em outras palavras, a interpretação da negação sentencial não pode ser reduzida a nenhuma propriedade referente à facilidade de compreensão, ao contexto, a regras pragmáticas ou fundamentalmente a qualquer estímulo sensório-motor. Em suma, a negação sentencial é uma operação sintática recursiva que *per se* não está relacionada a qualquer evento que possa ser percebido pelos sentidos corporais”²⁵² [itálico nosso] (Ibidem, 2012, p. 931 – 932, aspas do autor).

Nesse caso, a sintaxe interna não condiz com a hipótese de uma sintaxe incorporada, pois a inversão do sentido de uma frase como “eu mordo uma maçã” para “eu não mordo uma maçã”, revela que o morfema “não”, é transparente aos órgãos sensoriais, isto é, não perpassa pelo sistema sensório-

²⁵² Trecho original: “[...] the unattainability of syntax to the bodily senses is that the information carried by sentential negation does not correspond to any event that can be perceived in the physical world. More explicitly, there is nothing in the world that embodies negation, so to speak: the world can only be made of positive facts, i.e., affirmations. For instance, if we say The cake is not on the table, there is no sensory input that can directly elicit the content of this sentence, unless one would say that perceptual input can derive from a potentially infinite number of other facts that involve a cake which is not “being on a table”. If I see a table empty, that can by no means inform me that there is not a cake on the table, because there are infinite sentences about negative facts that would be derivable from the same context, such as The car is not on the table. In turn, when I actually see a cake lying on a table, the sensory information about the state of the cake is univocal. Hence, the meaning of The cake is not on the table cannot be entirely derived from perceptual stimuli. In other words, the interpretation of sentential negation cannot be reduced to any property referring to the ease of comprehension, to the context, to pragmatic rules or, crucially, to any sensorimotor stimulus. In sum, sentential negation is a syntactic recursive operation that is *per se* unrelated to any event that may be perceived by the bodily senses. But when sentential negation is applied to reverse the truth value of action-related sentences, a unique type of interaction with the perceptuo-motor system is observed”.

motor. Entretanto, a ativação cortical constatada por meio da técnica de fMRI, durante a comparação auditiva entre ambas as sentenças revelaram uma redução da atividade neural para a sentença negativa:

“[...] na área de Broca e nas regiões fronto-parieto-temporais do hemisfério esquerdo incluindo o córtex pré-motor, o córtex parietal inferior rostral e o córtex temporal posterior; isto é, em todas as principais regiões do cérebro que constituem o MNS [sistema de neurônios espelho humano]”²⁵³ (Tettamanti e al., 2008, p. 932).

Diante disso, os autores sugerem que a simulação mental de uma sentença negativa que descreve uma ação (semântica incorporada), é significativamente reduzida em comparação a períodos afirmativos. Nesse caso, mesmo que o conteúdo linguístico ative o sistema sensorial e motor mediante um enunciado que expresse algum movimento corporal (morder), ao inverter o valor da sentença (não morder), o sistema cognitivo interage com ambos os sistemas de base que repercute no nível da sua ativação. Tal exemplo ilustra a sutileza da correlação entre a semântica incorporada (morder) e a sintaxe desencarnada (não). Afinal, vale lembrar que em todas as línguas do mundo é preciso inserir um código linguístico que seja capaz de reverter o valor de verdade do enunciado, ou seja, não basta trocar a ordem das palavras como se observa em sentenças interrogativas (Horn, 1989; Zanuttini, 1997). Essa característica revela o vértice interno da sintaxe que recruta essencialmente a cognição linguística, sem a incorporação de circuitos sensorio-motores. Sendo assim, faz sentido a inferência dos pesquisadores de que existem:

“[...] relações hierárquicas que não são visíveis na sequência linear do código físico linguístico, ([...] algumas relações em certas línguas podem ser sinalizadas por fenômenos de concordância)”²⁵⁴ (Tettamanti e Moro, 2012, p. 930, parênteses do autor).

Por fim, apesar do morfema “não” estar além dos sentidos corporais mesmo sendo inserido em uma sentença com palavras que remetem a ações ou

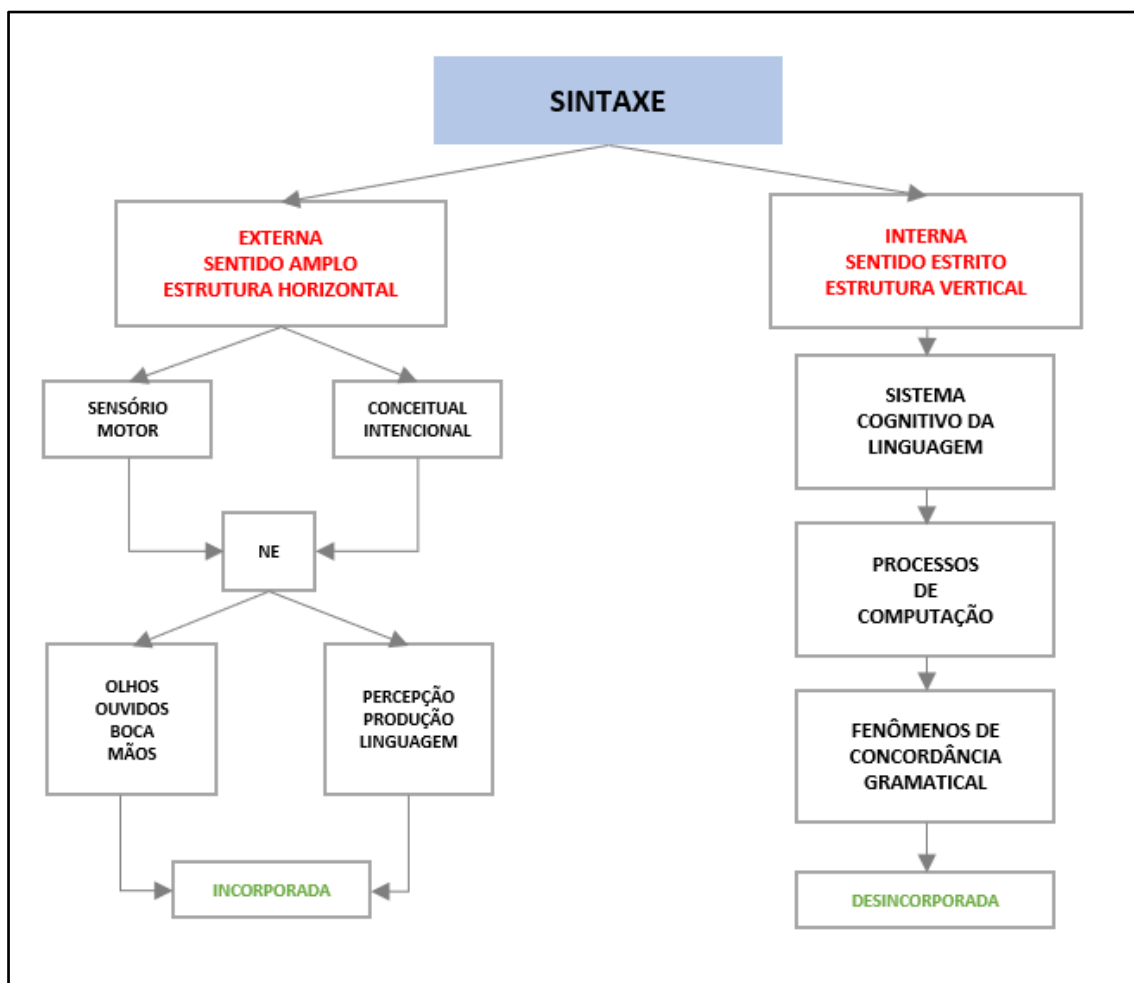
²⁵³ Trecho original: “[...] in Broca’s area and in left hemispheric fronto-parieto-temporal regions, including the premotor cortex, the rostral inferior parietal cortex, and the posterior temporal cortex; that is to say, in all main brain regions constituting the MNS”.

²⁵⁴ Trecho original: “[...] hierarchical relations that are not visible in the linear sequence of the linguistic physical code ([...], some relations in certain languages may be signalled by agreement phenomena)”.

partes do corpo, “[...] observa-se um tipo único de interação com o sistema perceptual-motor”²⁵⁵ (Ibidem, 2012, p. 930). Ou seja, existe um elo de contato entre a sintaxe desencarnada e a semântica/sintaxe incorporada. Colocando em outras palavras, o sistema computacional da linguagem, isto é, a sintaxe interna parece operar de forma independente ou mesmo em correlação com as interfaces sensório-motora e conceitual-intencional.

²⁵⁵ Trecho original: “[...] a unique type of interaction with the perceptuo-motor system is observed”.

Figura 45 - Esquema geral da sintaxe.



Fonte: Produção do próprio autor. A sintaxe possui duas dimensões, a primeira do lado esquerdo do esquema corresponde ao vértice externo, ao sentido amplo do conceito de sintaxe, onde são estruturadas as informações linguísticas em uma sequência ordenada horizontalmente. A sintaxe externa está inter-relacionada com as interfaces sensório-motor e conceitual-intencional que possui seu representante neurobiológico no circuito de NE na área de Broca que codifica informações linguísticas percebidas e produzidas por meio dos olhos (leitura), dos ouvidos (audição da fala), da boca (articulação da palavra falada), e das mãos (linguagem de sinais ou escrita). A sintaxe externa é incorporada, pois recruta essencialmente os sistemas perceptuomotores. A segunda dimensão da sintaxe localizada no lado direito da imagem representa a sintaxe interna, isto é, seu sentido é estrito, pois sua relação estrutural não se limita a ordem sequencial da estrutura horizontal, mas sim, a estrutura vertical que é computada pelo sistema cognitivo da linguagem que corresponde aos fenômenos de concordância gramatical. A sintaxe interna é desincorporada, pois seu *modus operandi* não perpassa pela mediação dos sistemas perceptuomotores.

Tendo em vista as hipóteses examinadas nesse capítulo resumimos as principais ideias da seguinte maneira:

- a) A sintaxe interna corresponde a um sistema computacional da cognição linguística que opera segundo os fenômenos de concordância gramatical que não precisam seguir necessariamente a

sequência linear de uma cadeia de palavras ordenadas horizontalmente. A sintaxe desincorporada é uma capacidade exclusiva dos seres humanos.

- b) A sintaxe externa representa o lado periférico da linguagem que corresponde as interfaces sensório-motora e conceitual-intencional. A funcionalidade da sintaxe externa perpassa pela percepção e produção de informações linguísticas estruturadas horizontalmente, isto é, em uma sequência linear de palavras faladas, escrita ou produzidas por meio da linguagem de sinais. A sintaxe incorporada requer a participação ativa do sistema perceptuo-motor que é compartilhado por outras espécies além dos humanos.
- c) A característica recursiva da sintaxe permite combinar, acrescentar ou repetir palavras, frases, orações ou períodos em uma longa cadeia horizontal de sintagmas que pode ser estruturalmente ilimitado.
- d) O substrato neurobiológico encarregado pela codificação da sequência de movimentos motores (sintaxe de ação), pode ter sido reutilizado para organizar serialmente a linguagem (sintaxe externa). Os NE recrutados para o processamento da sintaxe de ação no córtex cerebral de símios (área 6, setor F5), possivelmente foi exapitado mediante pressões evolutivas para codificar a sintaxe da linguagem no córtex cerebral do ser humano, (área de Broca, BA 44).
- e) Os NE representam o substrato neuroanatômico da sintaxe externa que perpassa pelo funcionamento de programas neuromotores encarregados pela percepção e produção sequencial da linguagem falada, escrita ou articulada por meio da linguagem de sinais. A sintaxe externa não pode captar códigos linguísticos que são transparentes aos órgãos sensoriais como o morfema “não”.

CAPÍTULO 6 – O UNIVERSO DA LINGUÍSTICA

6.1 Panorama histórico sobre a ciência da linguagem

“Os limites da minha própria linguagem significam os limites do meu próprio mundo” (Wittgenstein, Tractatus 5.6).

Após dissertar e analisar as hipóteses funcionais entre os NE e a fonética, semântica e sintaxe propostas pelo grupo de Parma e colaboradores, o objetivo desse capítulo é refletir sobre o que é a linguagem, sua natureza e funcionamento do ponto de vista da teoria construída pelo linguista norte americano Avram Noam Chomsky (1928 -)²⁵⁶. Vamos descrever e examinar de modo geral o arcabouço epistemológico da teoria da linguagem chomskiana a partir dos principais conceitos apresentados em seus primeiros trabalhos na década de sessenta com a gramática gerativa, que continuou sendo desenvolvida na década de noventa com o Programa Minimalista (PM).

A primeira pergunta que nos vem à mente para iniciar a redação desse capítulo é: o que é a linguagem? Apesar de ser uma característica natural dos seres humanos, as reflexões conceituais sobre a natureza da linguagem perpassam por diferentes campos do conhecimento. Por exemplo, uma das hipóteses remete a uma explicação teológica que segundo a metáfora escrita no livro da Bíblia (1969) “No princípio era o Verbo, e o Verbo estava com Deus, e o Verbo era Deus” (João, capítulo 1, versículo 1). Apesar da idealização do poder sobrenatural da linguagem a preocupação com a pronúncia correta dos textos sagrados motivou o estudo comparativo da fonética articulatória por meio da análise de *corpus*, o que resultou em um dos primeiros tratados de gramática da Índia antiga no século IV a.C (Câmara, 1975).

Durante o século V a.C. os trabalhos filosóficos de Platão (428/427 a.C. – 348/347 a.C.) e Aristóteles (348 a.C. – 322 a.C.), influenciaram as reflexões sobre a natureza da linguagem. Segundo a doutora em filosofia da linguagem Barbara

²⁵⁶ Avram Noam Chomsky, nascido em 1928.

Weedwood (2002, p. 24) “O primeiríssimo texto ocidental sobre a linguagem” encontra-se no diálogo platônico “Crátilo”²⁵⁷ transmitido por meio da obra “Metafísica”²⁵⁸ (séc. IV a.C). É importante esclarecer que a palavra grega para nome (ὄνομα) corresponde ao vocábulo “palavra” em português do qual inclui nomes próprios, substantivos, adjetivos e verbos (Souza, 2010). Nesse sentido, Platão sugere a existência de dois tipos de formas de nomes sendo a primeira uma forma geral que corresponde a variabilidade de cada língua da qual o filósofo reconhece como a função instrumental do nome, o que remete ao conceito de significante, ou seja, a forma material da palavra, isto é, sua manifestação acústica ou escrita. Segundo Platão, “[...] um nome é um instrumento que serve a instrução e para distinguir a realidade”²⁵⁹ (Platão, p. 388, bc, apud Méridier, 1931, p. 8). O segundo tipo de forma de palavra corresponde à concepção de significado, ou seja, a essência (οὐσίαν) da palavra. Platão ilustra ambas as formas ao comparar a fabricação de uma mesma ferramenta por meio de técnicas diferentes:

“Se cada legislador não opera nas mesmas sílabas, eis o que não deve ser esquecido: nem todos os ferreiros operam no mesmo ferro, fabricando o mesmo instrumento para o mesmo fim; no entanto, desde que lhe dêem a mesma forma, ainda que não seja o mesmo ferro, o instrumento é bom, quer seja feito aqui ou entre os bárbaros. Não é?”²⁶⁰ (Platão, p. 389e – 390a, apud Méridier, 1931, p. 59).

Nesse sentido, podemos compreender que por um lado está a palavra falada que representa o instrumento fabricado pelo ferreiro e por outro o sentido da palavra que alude a utilidade do instrumento. Portanto, uma mesma ideia pode ser dita de diferentes maneiras, assim como uma ferramenta pode ser produzida a partir de técnicas distintas. No entanto, sua utilidade acaba sendo empregada para um mesmo fim. A dicotomia entre a forma física e a essência

²⁵⁷ Título original: “Κρατύλος”.

²⁵⁸ Título original: “Μετά τα φυσικά”.

²⁵⁹ Trecho original: “[...] ὄνομα... διδασκαλικόν τί ἔστιν ὄργανον καὶ διακριτικόν τῆς οὐσίας”. Tradução do grego para o francês: “[...] Le nom est un instrument qui sert à instruire et à distinguer la réalité”.

²⁶⁰ Trecho original: “Si chaque législateur n'opère pas sur les mêmes syllabes, voici ce qu'il ne faut point oublier: tous les forgerons n'opèrent pas non plus sur le même fer en fabriquant pour le même but le même instrument; néanmoins, tant qu'ils lui donnent la même forme, même si ce n'est pas le même fer, l'instrument est bon, qu'on le fabrique chez nous ou chez les barbares. N'est-ce pas?”.

das palavras aparece nas entrelinhas da reflexão sobre o conceito de pensamento desenvolvida no diálogo “Teeteto”²⁶¹ (369 a.C):

“Logos, pensamento e discurso são a mesma coisa, exceto que é o diálogo interior e silencioso da alma consigo mesma que chamamos com o nome de pensamento (dianoia). (263e). O que chamas assim [de pensamento]? Uma conversação que a alma mantém consigo mesma, a respeito do que é eventualmente o objeto do seu exame (...) essa imagem que eu faço da alma que está pensando não é nada mais que a de uma conversa, na qual ela faz perguntas a si mesma e dá respostas a si mesma, seja afirmando, seja negando. (...) Por conseguinte, chamo “julgar” de “falar”; chamo a opinião, o julgamento, de uma “enunciação de palavras”, que na verdade não se dirige a outrem que também não se faz por meio da voz, mas silenciosamente e falando consigo mesmo” (Teeteto 189e -190a apud Nef, 1995, p. 20, parênteses e aspas do autor).

De modo sucinto, a filosofia da linguagem proposta por Platão infere que o pensamento está intimamente ligado ao discurso que é articulado por meio do agrupamento de palavras que corresponde ao sentido do termo *logos* como: “[...] “reunião, coleção” e não “termo, palavra”” (Nef, 1995, p. 14, aspas do autor). No entanto, o discurso interno elaborado a partir do pensamento linguístico ocorre de modo silencioso, ou seja, não é materializado por meio do nome, quer dizer, não é explicitado pela forma física da palavra.

A respeito das ideias sobre a natureza da linguagem segundo os trabalhos de Aristóteles, é preciso deixar claro que não existe um tratado específico ou um pensamento sistematizado. O filósofo grego apresenta suas opiniões de modo disperso e heterogêneo em seus textos sobre lógica, retórica e argumentação. Basicamente a concepção aristotélica sobre a linguagem perpassa pelos seguintes eixos de reflexão: o exame da estrutura material do enunciado que corresponde a pronúncia e a gramática; a análise da estrutura lógica do enunciado que remete ao valor de verdade ou falsidade de um axioma; a relação do enunciado com a realidade, quer dizer, a conformidade entre o que se diz e o que se percebe; e por fim, as relações entre a linguagem e o pensamento que correspondem as impressões na alma (Nef, 1995). Nas palavras de Aristóteles:

²⁶¹ Título original: “Θεαίρητος”.

“[...] os sons emitidos pela voz são os símbolos (sumbola) dos estados de alma (pathemata tes psukhès) (...) E assim como existe na alma ora um conceito independente do verdadeiro ou o outro, assim também acontece com a palavra; pois é na composição e na divisão que consistem no verdadeiro e o falso” (De Interpretatione, 16a3 e a 10-13, apud Nef, 1995, p. 27, parênteses do autor).

Nesse sentido, as palavras escritas correspondem aos signos falados enquanto as palavras articuladas pela fala representam as impressões na alma que simbolizam a aparência do mundo real. Aliás, cabe citar que “As impressões e as coisas, observa Aristóteles, são as mesmas para todos os homens, ao passo que diferem as palavras que representam as interpretações” (Weedwood, 2002, p. 27). Dessa forma, a natureza da linguagem para o filósofo grego possui dois vértices de manifestação como Platão havia sugerido, ou seja, uma linguagem interna que está vinculada a elaboração do pensamento que é basicamente semelhante para todos os seres humanos e um aparato externo, isto é, o meio físico pelo qual o pensamento é expresso pela fala ou pela escrita. Em suma, uma proposição elaborada no nível cognitivo, quer dizer, a linguagem mental articulada silenciosamente representa a essência da doutrina platônica e aristotélica sobre a linguagem.

Passando para a Idade Média²⁶² a filosofia cartesiana do século XVII que foi associada ao intelectual francês René Descartes (1596 – 1650)²⁶³, considerou o caráter criativo do uso da linguagem como “[...] um critério primário para a existência da mente como uma substância separada”²⁶⁴ (Chomsky, 2019, p. 7, informação pessoal)²⁶⁵. Portanto, a capacidade de elaborar e produzir novas sentenças que não se restringem ao conhecimento linguístico aprendido pela transmissão oral ou escrita intermediada pelo corpo (*res extensa*), salientou a concepção de que a linguagem faz parte da substância pensante (*res cogitans*). Ou seja, o potencial criativo do pensamento linguístico está além do

²⁶² Durante a defesa do doutorado, o membro da banca prof. Dr. Francisco Assis de Queiroz sugeriu que o período chamado “Idade Média” é de difícil periodização, e por isso sugeriu a leitura da obra “A história deve ser dividida em pedaços?”, Jacques Le Goff (2015).

²⁶³ René Descartes nasceu em 1596, faleceu em 1650.

²⁶⁴ Trecho original: “[...] a primary criterion for the existence of mind as a separate substance”.

²⁶⁵ Chomsky, N. 2019. What is Language. Destinatário: Caetano, A., F., R. [São Paulo], 02 de dez. 2019. Material disponível na plataforma virtual da Universidade do Arizona exclusivamente para os alunos do curso “Language, Mind, and Brain”, realizado em 2019.

conhecimento adquirido pelo falante. Segundo Chomsky (2009, p. 60, parênteses do autor):

“[...] Descartes sustenta que a linguagem está disponível para a livre expressão do pensamento ou para a resposta apropriada em qualquer novo contexto e é indeterminada por qualquer associação fixa de enunciados a estímulos externos ou estados fisiológicos (identificáveis de qualquer forma não circular)”²⁶⁶.

Aliás, Chomsky reconhece até onde sabe que Descartes foi o primeiro a ressaltar o aspecto criativo do uso da linguagem, assim como médico e filósofo francês Julien Offray de la Mettrie²⁶⁷, contemporâneo de Descartes, escreveu sobre a linguagem, inclusive propondo que outros primatas não humanos pudessem aprender uma língua.

“[...] o primeiro a ter colocado claramente o problema da pobreza de estímulo em sua passagem nas Dióptricas sobre como uma criança ao ver uma figura pela primeira vez a interpretará como um triângulo distorcido, não como um exemplo perfeito de qualquer figura maluca que seja, que parece estar a apenas um passo de postular algo como a geometria euclidiana é inata [à mente humana] e fornece a estrutura para a percepção com base na pobreza de estímulos”²⁶⁸ (Chomsky, 2009, p. 116 – 117).

Nesse sentido, a capacidade de produzir novas sentenças mesmo com uma quantidade limitada de estímulos linguísticos aprendidos enfatiza a natureza inata e interna da linguagem. Segundo o filósofo francês:

“Pois é uma coisa muito notável que não haja homens tão brancos e estúpidos, sem excetuar os insensatos que não sejam capazes de arranjar diversas palavras e compor com elas um discurso pelo qual façam entender o seu pensamento” (Descartes, 1637, Vª parte, apud Nef, 1995, p. 107).

²⁶⁶ Trecho original: “[...] Descartes maintains that language is available for the free expression of thought or for appropriate response in any new context and is undetermined by any fixed association of utterances to external stimuli or physiological states (identifiable in any noncircular fashion)”.

²⁶⁷ Julien Offray de la Mettrie, nascido em 1709, falecido em 1751.

²⁶⁸ Trecho original: “[...] the first to have clearly stated the problem of poverty of stimulus, in his passage in the Dioptrics about how an infant on first seeing a figure will interpret it as a distorted triangle, not as a perfect instance of whatever crazy figure it is, which seems only a step away from postulating that something like Euclidean geometry is innate [to the human mind] and provides the framework for perception, on poverty of stimulus grounds”.

Descartes observa que a capacidade de comunicar os pensamentos por meio da articulação das palavras é uma habilidade natural da qual difere os seres humanos dos animais. Em suas palavras “[Nenhum animal ou máquina] poderia (...) usar palavras ou juntar outros sinais como fazemos para declarar nossos pensamentos aos outros”²⁶⁹ (Descartes, 1637/1985, p. 140, apud Chomsky 2009, p. 39). O filósofo francês esclarece sua hipótese em uma carta escrita para o filósofo inglês Henry More (1614 – 1687)²⁷⁰:

“Mas, na minha opinião, a principal razão para sustentar que os animais carecem de pensamento é a seguinte. Dentro de uma única espécie, alguns deles são mais perfeitos que outros, assim como os humanos. Isso pode ser visto em cavalos e cães, alguns dos quais aprendem o que são ensinados muito melhor do que outros; e todos os animais se comunicam facilmente conosco, por meio da voz ou movimento corporal, seus impulsos naturais de raiva, medo, fome e assim por diante. No entanto, apesar de todos esses fatos, nunca se observou que algum animal bruto tenha atingido a perfeição de usar a fala real, isto é, de indicar por palavra ou sinal algo relacionado apenas ao pensamento e não ao impulso natural. Tal fala é o único sinal certo de pensamento escondido em um corpo. Todos os seres humanos a usam, por mais estúpidos e insanos que sejam, mesmo que não tenham língua e órgãos de voz; mas nenhum animal faz. Consequentemente, isso pode ser tomado como uma diferença específica real entre humanos e animais”²⁷¹ (Descartes, 1649, p. V 278, apud Kenny et al., 1985, p. 366).

Em suma, as inferências de Descartes sobre a natureza da linguagem humana se assemelham as hipóteses de Platão e Aristóteles de que existem operações internas da linguagem que são naturais aos seres humanos. Ou seja,

²⁶⁹ Trecho original: “[No such animal or machine] could ... use words, or put together other signs, as we do in order to declare our thoughts to others”.

²⁷⁰ Henry More, nascido em 1614, falecido em 1687.

²⁷¹ Trecho original: “But in my opinion the main reason for holding that animals lack thought is the following. Within a single species some of them are more perfect than others, as humans are too. This can be seen in horses and dogs, some of which learn what they are taught much better than others; and all animals easily communicate to us, by voice or bodily movement, their natural impulses of anger, fear, hunger and so on. Yet in spite of all these facts, it has never been observed that any brute animal has attained the perfection of using real speech, that is to say, of indicating by word or sign something relating to thought alone and not to natural impulse. Such speech is the only certain sign of thought hidden in a body. All human beings use it, however stupid and insane they may be, even though they may have no tongue and organs of voice; but no animals do. Consequently, this can be taken as a real specific difference between humans and animals”.

a cognição linguística é inata e seu desenvolvimento não se restringe aos estímulos do ambiente, pois sua característica criativa revela a capacidade do falante em articular e expressar seus pensamentos por meio de sentenças nunca antes ouvidas ou aprendidas. Aliás, é pertinente inferir que a cognição como um todo é composta por alguns sistemas inatos como a visão, audição ou a linguagem que crescem e se desenvolvem endógenamente. Afinal, a filosofia racionalista assume a visão internalista/nativista da linguagem que nas palavras introdutórias do filósofo James McGilvray (1938 – 1995)²⁷², redigidas na terceira edição do livro escrito por Chomsky “Linguística cartesiana: Um capítulo na história do pensamento racionalista”²⁷³ (2009):

“Adotar o nativismo equivale a iniciar um esforço de pesquisa que assume que os conceitos e a linguagem estão de alguma forma implícitos em algum tipo de “mecanismo” natural do corpo-mente humano, sob controle (parcial) do genoma e do curso de desenvolvimento que ele controla. Construir uma teoria de conceitos e linguagem é, então, construir uma teoria dos mecanismos relevantes e de como eles se desenvolvem”²⁷⁴ (Chomsky, 2009, p. 18 – 19, aspas e parênteses do autor).

Dando continuidade ao recorte histórico sobre a natureza da linguagem, cabe mencionar que seu aspecto criativo também foi observado pelo astrônomo italiano Galileo Galilei (1564 – 1642)²⁷⁵ que:

“[...] admirava a “sublimidade da mente” da pessoa que “sonhava em encontrar meios de comunicar seus pensamentos mais profundos a outras pessoas...pelos diferentes arranjos de vinte caracteres em uma página”, uma conquista “superando todas as invenções estupendas” mesmo os de “um Michelangelo, um Rafael ou um Ticiano”²⁷⁶ (Galileo,

²⁷² McGilvray, nascido em 1938, falecido em 1995.

²⁷³ Título original: “Cartesian Linguistics: A Chapter in the History of Rationalist Thought”.

²⁷⁴ Trecho original: “Adopting nativism amounts to initiating a research effort that assumes that concepts and language are somehow implicit in some kind of natural “mechanism” of the human body-mind, under (partial) control of the genome and the course of development. that he controls. To construct a theory of concepts and language is, then, to construct a theory of the relevant mechanisms and how they develop”.

²⁷⁵ Galileo Galilei, nascido em 1564, falecido em 1642.

²⁷⁶ Trecho original: “[...] wondered at the “sublimity of mind” of the person who “dreamed of finding means to communicate his deepest thoughts to any other person...by the different arrangements of twenty characters upon a page,” an achievement “surpassing all stupendous inventions,” even those of “a Michelangelo, a Raphael, or a Titian”.

Dialogue Concerning the two Chief World System, 1632, end of first day, Apud Chomsky, 2019, p. 4, aspas do autor, informação pessoal).

Nesse sentido, Galileo salientou a compreensão de que a linguagem estava intimamente correlacionada ao potencial criativo da mente, ou seja, o pensamento linguístico permite combinar um número finito de sons e morfemas em uma quantidade de expressões e ideias possivelmente infinito. Tal inferência corresponde as ideias dos monges franceses Antoine Arnauld (1612 – 1694)²⁷⁷ e Claude Lancelot (1615 – 1695)²⁷⁸, que escreveram a obra “Gramática de Port-Royal”²⁷⁹ (1660). Segundo eles a linguagem apresenta:

“[...] essa maravilhosa invenção de compor a partir de vinte e cinco ou trinta sons uma infinita variedade de palavras que embora não tendo em si nenhuma semelhança com o que passa por nossas mentes, não obstante não deixa de revelar aos outros todos os segredos da mente, e tornar inteligível aos outros que não podem penetrar na mente tudo o que concebemos e todos os diversos movimentos de nossas almas. Assim, as palavras podem ser definidas como sons distintos e articulados que os homens transformaram em signos para significar seus pensamentos. É por isso que os diferentes tipos de significação que são incorporados nas palavras não podem ser claramente entendidos se o que se passou em nossas mentes anteriormente não foi claramente entendido, pois as palavras foram inventadas apenas para tornar esses pensamentos conhecidos”²⁸⁰ (Arnauld e Lancelot, 1975, p. 65 – 66).

Segundo essa linha de raciocínio a concepção tradicional da linguagem pode ser definida essencialmente como “um instrumento do pensamento”²⁸¹ (Chomsky, 2019, p. 9, informação pessoal). Portanto, Chomsky defende que a “[...]”

²⁷⁷ Antoine Arnauld, nascido em 1612, falecido em 1695.

²⁷⁸ Claude Lancelot, nascido em 1615, falecido em 1695.

²⁷⁹ Título original: “Grammaire générale et raisonnée”.

²⁸⁰ Trecho original: “[...] this marvelous invention of composing from twenty-five or thirty sounds an infinite variety of words, which although not having any resemblance in themselves to that which passes through our minds, nevertheless do not fail to reveal to others all of the secrets of the mind, and to make intelligible to others who cannot penetrate into the mind all that we conceive and all of the diverse movements of our souls. Thus words can be defined as distinct and articulate sounds which men have made into signs for signifying their thoughts. This is why the different sorts of signification which are embodied in words cannot be clearly understood if what has gone on in our minds previously has not been clearly understood, since words were invented only in order to make these thoughts known”.

²⁸¹ Trecho original: “[...] an instrument of thought”.

linguagem não é som com significado, mas significado com som”²⁸² (Ibidem, 2019, p. 9). Logo, a natureza da linguagem é interpretada de dentro para fora, isto é, o pensamento linguístico ou a cognição linguística representa o núcleo da linguagem, enquanto sua interface externa que está ligada aos sistemas sensorio motor corresponde a um recurso adicional que não pertence propriamente a linguagem interna.

“O sistema sensorio-motor não está especificamente adaptado à linguagem em aspectos fundamentais: as partes essenciais para a exteriorização e a percepção parecem estar instaladas muito antes do surgimento da linguagem. Há evidências de que o sistema auditivo dos chimpanzés pode ser razoavelmente bem adaptado para a fala humana, embora os macacos não possam nem mesmo dar o primeiro passo na aquisição da linguagem”²⁸³ (Ibidem, 2019, p. 8-9).

A propósito do uso criativo da linguagem em comparação com a capacidade comunicativa dos animais o biólogo britânico Charles Darwin (1809 - 1882)²⁸⁴, escreve em sua obra “A descendência do homem e a seleção em relação ao sexo”²⁸⁵ (1871) que:

“[...] os animais inferiores diferem do homem apenas pelo seu poder quase infinitamente maior de associar os mais diversos sons e ideias; e isso obviamente depende do alto desenvolvimento de suas faculdades mentais”²⁸⁶ (Darwin, 2004, cap. 3, sem página).

Vale lembrar que símios, abelhas, pássaros ou golfinhos apesar de possuírem um sistema de comunicação acústico ou gestual não dispõem de um mecanismo recursivo como dos seres humanos, pois suas capacidades são restritas a repetição de elementos que podem salientar uma mensagem e não criar novos sentido (Wilson, 1929; Terrace et al., 1979).

²⁸² Trecho original: “[...] language is not sound with meaning but meaning with sound”.

²⁸³ Trecho original: “The sensorymotor system is not specifically adapted to language in fundamental respects: the parts essential for externalization and perception appear to have been in place long before language emerged. There is evidence that the auditory system of chimpanzees might be fairly well adapted for human speech, though apes cannot even take the first step in language acquisition”.

²⁸⁴ Charles Darwin, nascido em 1809, falecido em 1882.

²⁸⁵ Título original: “The Descent of Man, and selection in relation to sex”.

²⁸⁶ Trecho original: “[...] the lower animals differ from man solely in his almost infinitely larger power of associating together the most diversified sounds and ideas; and this obviously depends on the high development of his mental powers”.

“A diferença essencial entre o homem e o animal revela-se de modo mais claro na linguagem humana, em particular na capacidade humana de formar novas proposições, que exprimem novos pensamentos, apropriados a novas situações”²⁸⁷ (Chomsky, 2009, p. 59).

Segundo Chomsky (Ibidem, 2009, p. 69) a “[...] ênfase cartesiana no aspecto criativo do uso da linguagem como a característica essencial e definidora da linguagem humana, encontra sua expressão mais contundente”²⁸⁸ nas inferências teóricas do filósofo e linguista prussiano Wilhelm von Humboldt²⁸⁹.

“Humboldt constitui a transição do Iluminismo para o século XIX, marcado pelo nascimento da ciência linguística (gramática comparada, hipótese indo-européia). [...] Para ele, a atividade de linguagem é uma mediação entre o espírito e a realidade” (Nef, 1995, p. 130, parênteses do autor).

Considerado um dos linguistas mais originais e influente do século XIX, Humboldt definiu a linguagem como:

“[...] energia (“atividade” [Thätigkeit]) em vez de ergon (“produto” [Werk]), como “uma atividade geradora [eine Erzeugung]” em vez de “um produto sem vida” [ein todtes Erzeugtes] estendida e elaborada. [...] Para Humboldt, a única definição verdadeira de linguagem é “uma atividade produtiva” [eine genetische]: “É o trabalho mental sempre repetido [Arbeit des Geistes] de tornar o som articulado capaz de expressar o pensamento”²⁹⁰ (Humboldt, 1999, p. 57, apud Chomsky, 2009, p. 69, parênteses, aspas e colchetes do autor).

Nessa perspectiva, o falante é capaz de gerar incontáveis pensamentos através da energia mental da linguagem que opera com um volume finito de informações linguísticas. Portanto, a linguagem deve “[...] fazer uso infinito de meios finitos, e é capaz de fazê-lo através do poder produtivo que é a identidade

²⁸⁷ Trecho original: “The essential difference between man and animal is exhibited most clearly by human language, in particular, by man’s ability to form new statements which express new thoughts and which are appropriate to new situations”.

²⁸⁸ Trecho original: “[...] The Cartesian emphasis on the creative aspect of language use, as the essential and defining characteristic of human language, finds its most forceful expression”.

²⁸⁹ Wilhelm von Humboldt, nascido em 1767, falecido em 1835.

²⁹⁰ Trecho original: “[...] energieia (“activity” [Thätigkeit]) rather than ergon (“product” [Werk]), as “a generative activity [eine Erzeugung]” rather than “a lifeless product” [ein todtes Erzeugtes] extends and elaborates. [...] For Humboldt, the only true definition of language is “a productive activity” [eine genetische]: “It is the ever repeated mental labour [Arbeit des Geistes] of making articulated sound capable of expressing thought”.

da linguagem e do pensamento”²⁹¹ (von Humboldt, 1999, p. 122, apud Chomsky, 2009, p. 70). De acordo com Humboldt:

“A linguagem é o órgão formador do *pensamento*. A *atividade intelectual*, inteiramente mental, inteiramente interna e, em certa medida, passando sem deixar vestígios, torna-se, através do *som*, exteriorizada na fala e perceptível aos sentidos. Pensamento e linguagem são, portanto, um e inseparáveis um do outro”²⁹² (von Humboldt, 1999, p. 54, itálico do autor).

Aliás, o linguista prussiano sugere que existe um sistema subjacente tanto para a percepção da fala (emissor) quanto para a percepção do som (receptor). Chomsky recorta algumas citações de Humboldt para exemplificar:

“[...] a percepção da fala humana não é meramente uma questão de “mera evocação mútua do som e do objeto indicado” (Verschiedenheit, p. 70; Humboldt 1999: 57). Por um lado, uma palavra não é “uma impressão do objeto em si, mas de sua imagem produzida na alma” (p. 74). Mas, além disso, a percepção da fala requer uma análise do sinal de entrada em termos dos elementos subjacentes que funcionam no ato essencialmente criativo da produção da fala e, portanto, requer a ativação do sistema gerador que desempenha um papel na produção da fala, pois é somente em função dessas regras fixas que os elementos e suas relações são definidos. As “regras de geração” subjacentes devem, portanto, funcionar na percepção da fala. Se não fosse por seu domínio destes, se não fosse por sua capacidade de “atualizar todas as possibilidades”, a mente não seria capaz de lidar com os mecanismos da fala articulada, assim como um cego não é capaz de perceber as cores. Segue-se, então, que tanto os mecanismos perceptivos quanto os mecanismos de produção da fala deve fazer uso do sistema subjacente de regras generativas. É por causa da identidade virtual desse sistema subjacente no falante e no ouvinte que a comunicação pode ocorrer, o compartilhamento de um sistema generativo subjacente sendo rastreável, em última análise, à

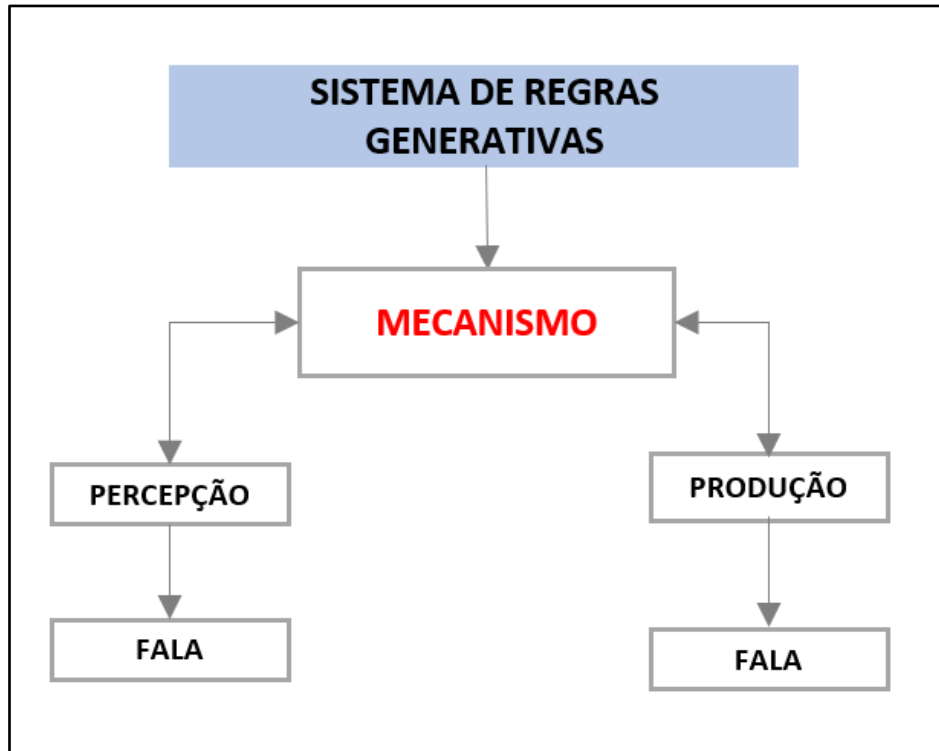
²⁹¹ Trecho original: “[...] make infinite use of finite means, and is able to do so through the productive power that is the identity of language and thought”.

²⁹² Trecho original: “Language is the formative organ of *thought*. *Intellectual activity*, entirely mental, entirely internal, and to some extent passing without trace, becomes, through *sound*, externalized in speech and perceptible to the senses. Thought and language are therefore one and inseparable from each other”.

uniformidade da natureza humana (p. 101-102)²⁹³ (Chomsky, 2009, p. 105 – 106, aspas do autor).

Elaboramos o seguinte esquema para ilustrar o trecho supracitado.

Figura 46 - Sistema subjacente de regras generativas.



Fonte: Produção do próprio autor. O sistema de regras generativas subjaz o mecanismo da percepção e da produção da fala. Compreendemos que a identidade virtual do sistema de regras generativas corresponde ao vértice cognitivo da linguagem. A comunicação entre um falante e um ouvinte ocorre mediante a percepção e a produção da fala que decorrem das regras de geração da linguagem compartilhados por meio da natureza da cognição humana.

Ao inferir que a percepção e a produção da fala são provenientes de um sistema gerativo interno, isto é, “[...] o som percebido [e produzido] incita a mente

²⁹³ Trecho original: “[...] human speech perception is not merely a matter of “mere mutual evocation of the sound and the object indicated” (Verschiedenheit, p. 70; Humboldt 1999: 57). For one thing, a word is not “an impression of the object in itself, but rather of its image, produced in the soul” (p. 74). But, furthermore, speech perception requires an analysis of the incoming signal in terms of the underlying elements that function in the essentially creative act of speech production, and therefore it requires the activation of the generative system that plays a role in production of speech as well, since it is only in terms of these fixed rules that the elements and their relations are defined. The underlying “rules of generation” must, therefore, function in speech perception. If it were not for its mastery of these, if it were not for its ability “to actualize every possibility” the mind would no more be able to deal with the mechanisms of articulated speech than a blind man is able to perceive colors. It follows, then, that both the perceptual mechanisms and the mechanisms of speech production must make use of the underlying system of generative rules. It is because of the virtual identity of this underlying system in speaker and hearer that communication can take place, the sharing of an underlying generative system being traceable, ultimately, to the uniformity of human nature (p. 101–102)”.

a gerar um conceito correspondente por seus próprios meios” (Chomsky, 2009, p. 106), Humboldt salienta a hipótese que:

“[As pessoas] não se entendem realmente trocando signos por coisas, nem mutuamente ocasionando umas às outras para produzir exatamente e completamente o mesmo conceito; eles fazem isso tocando um no outro o mesmo elo na cadeia de suas idéias sensoriais e conceituações internas, tocando a mesma nota em seu instrumento mental, onde ao combinar conceitos não idênticos são engendrados em cada um [falante e ouvinte]. (p. 213; Humboldt 1999: 152)”²⁹⁴ (apud Chomsky, 2009, p. 106).

Colocando em outras palavras, existe um sistema interno da linguagem que gera “[...] uma representação tanto do sinal quanto do conteúdo semântico associado”²⁹⁵ (Chomsky, 2009, p. 106). Ou seja, o emissor e o receptor não precisam compartilhar aspectos linguísticos idênticos para estabelecer um canal de comunicação, pois o sistema de regras generativas ativado na mente é capaz de engendrar uma cadeia de pensamentos linguísticos por seus próprios meios. Sendo assim, apesar das diferenças no nível superficial da linguagem que correspondem aos componentes fonético e semântico, Humboldt sugere que a essência da linguagem:

“[...] não pode ser ensinada adequadamente, mas apenas despertada na mente; só pode receber os fios pelos quais se desenvolve por conta própria”; assim, as línguas são, em certo sentido, “autocriações” [Selbstschöpfungen] dos indivíduos (p. 50; Humboldt 1999: 43-44)”²⁹⁶ (apud Chomsky, 2009, p. 101, aspas do autor).

Ao assumir o mecanismo interno da linguagem como um sistema generativo Humboldt infere que “A aprendizagem de línguas pelas crianças não é uma atribuição de palavras a serem depositadas na memória e rebatidas de cor pelos lábios, mas um crescimento na capacidade linguística com a idade e a

²⁹⁴ Trecho original: “[People] do not understand one another by actually exchanging signs for things, nor by mutually occasioning one another to produce exactly and completely the same concept; they do it by touching in one another the same link in the chain of their sensory ideas and internal conceptualizations, by striking the same note on their mental instrument, where upon matching but not identical concepts are engendered in each. (p. 213; Humboldt 1999: 152)”.

²⁹⁵ Trecho original: “[...] a representation both of the signal and the associated semantic content”.

²⁹⁶ Trecho original: “[...] cannot properly be taught but only awakened in the mind; it can only be given the threads by which it develops on its own account”; thus languages are, in a sense, “self-creations” [Selbstschöpfungen] of individuals (p. 50; Humboldt 1999: 43–4)”.

prática. (p. 71)²⁹⁷ (apud Chomsky, 2009, p. 101). Portanto, as crianças não realizam:

“[...] uma aprendizagem mecânica da linguagem, mas um desenvolvimento do poder linguístico, também é comprovado pelo fato de que, como as principais habilidades do ser humano são atribuídas a um certo período de vida para seu desenvolvimento, todas as crianças, sob as mais diversas condições, falam e entendem mais ou menos na mesma idade, variando apenas dentro de um curto espaço de tempo. (p. 72; Humboldt 1999: 58)²⁹⁸ (apud ibidem, 2009, p. 101).

Nessa perspectiva, Humboldt salienta a hipótese de que existe um sistema endógeno da linguagem com base na observação das fases de aprendizagem da criança. É curioso pensar que esses estágios de aquisição e desenvolvimento do poder linguístico condiz com o chamado período crítico da linguagem. Ou seja, as fases de aquisição e desenvolvimento da linguagem estão correlacionadas com processos estruturais e funcionais do cérebro que podem estar descompensados devido “[...] a imaturidade cerebral de um lado e o término de um estado de plasticidade organizacional ligado à lateralização da função no outro extremo do período crítico”²⁹⁹ (Lenneberg, 1967 p. 176). Chomsky recapitula as ideias acrescentando uma citação de Humboldt:

“Em suma, a aquisição da linguagem é uma questão de crescimento e maturação de capacidades relativamente fixas, sob condições externas apropriadas. A forma da linguagem adquirida é em grande parte determinada por fatores internos; é por causa da correspondência fundamental de todas as línguas humanas, por causa do fato de que “os seres humanos são os mesmos, onde quer que estejam” [der Mensch überall Eins mit dem Menschen ist], que uma criança pode aprender qualquer língua (p. 73). O funcionamento da capacidade linguística é, além disso, ótimo em um certo “período

²⁹⁷ Trecho original: Language learning of children is not an assignment of words, to be deposited in memory and rebabbled by rote through the lips, but a growth in linguistic capacity with age and practice. (p. 71)”.

²⁹⁸ Trecho original: “[...] a mechanical learning of language, but a development of linguistic power, is also proven by the fact that since the major abilities of humans are allotted a certain period of life for their development, all children, under the most diverse conditions, speak and understand at about the same age, varying only within a brief time span. (p. 72; Humboldt 1999: 58)”.

²⁹⁹ Trecho original: “[...] cerebral immaturity on the one end and termination as a state of organizational plasticity linked with lateralization of function at the other end of the critical period”.

crítico” de desenvolvimento intelectual”³⁰⁰ (Chomsky, 2009, p. 101 – 102, aspas do autor).

De modo geral, as inferências teóricas propostas por Humboldt ressaltam as características estruturais e funcionais da linguagem observadas por seus antecessores. O aspecto criativo do uso da linguagem reforça a hipótese de um sistema endógeno capaz de gerar a partir de um volume finito de dados linguísticos uma quantidade incontável de pensamentos através da energia mental da linguagem. A hipótese de que existe um sistema de regras generativas que precede tanto o mecanismo de percepção quanto de produção da fala salienta a concepção da linguagem como uma atividade geradora que medeia a correlação entre o espírito e a realidade. Afinal, o desenvolvimento do poder interno da linguagem em vista das fases do período crítico reforça a compreensão da linguagem como um “[...] “organismo” no qual todas as partes estão interligadas e o papel de cada elemento é determinado por sua relação com os processos generativos que constituem a forma subjacente”³⁰¹ (Chomsky, 2009, p. 74, aspas do autor). Em suma, a linguística humboldtiana retrata a visão dominante da filosofia cartesiana sobre a linguagem como sendo “[...] o melhor espelho da mente humana”³⁰² (Ibidem, 2009, p. 76).

Apesar de Humboldt ter fomentado a emergência da linguística como um campo do conhecimento, sua consolidação como uma ciência autônoma ocorreu a partir da publicação da obra *Curso de Linguística Geral*³⁰³ (1916), que foi compilado pelos alunos do linguista suíço Ferdinand de Saussure (1857 – 1913)³⁰⁴. Segundo Saussure (1967, p. 20):

³⁰⁰ Trecho original: “In short, language acquisition is a matter of growth and maturation of relatively fixed capacities, under appropriate external conditions. The form of the language that is acquired is largely determined by internal factors; it is because of the fundamental correspondence of all human languages, because of the fact that “human beings are the same, wherever they may be” [der Mensch überall Eins mit dem Menschen ist], that a child can learn any language (p. 73). The functioning of the language capacity is, furthermore, optimal at a certain “critical period” of intellectual development”.

³⁰¹ Trecho original: “[...] “organism” in which all parts are interconnected and the role of each element is determined by its relation to the generative processes that constitute the underlying form”.

³⁰² Trecho original: “[...] the best mirror of the human mind”.

³⁰³ Título original: “Cours de linguistique générale”.

³⁰⁴ Ferdinand de Saussure, nascido em 1857, falecido em 1913.

“A tarefa da linguística será:

a) fazer a descrição e a história de todas as línguas que poderá chegar, o que equivale a fazer a história das famílias das línguas e reconstituir na medida do possível as línguas maternas de cada família;

b) buscar as forças que estão em jogo de forma permanente e universal em todas as línguas, e liberar as leis gerais às quais se pode reduzir todos os fenômenos particulares da história;

c) delimitar e definir a si própria”³⁰⁵.

É curioso notar que ocorre uma inversão do foco de investigação da linguística que passa a pesquisar a estrutura material da língua em oposição a um sistema interno correlacionado ao pensamento, ou seja, a linguagem. Saussure menciona que apesar da linguística operar em dois vértices é preciso delimitar seu objeto de estudo.

“Se estudarmos a linguagem de vários lados ao mesmo tempo, o objeto da linguística nos aparece como um amontoado confuso de coisas heterogêneas sem conexão entre elas. Quando procedemos assim abrimos a porta para várias ciências – psicologia, antropologia, gramática normativa, filologia etc. – que claramente separamos da linguística”³⁰⁶ (Saussure, 1967, p. 24-25).

Portanto, ele sugere que a língua seja o tema de pesquisa da ciência linguística.

“Mas o que é a língua? Para nós, não deve ser confundida com a linguagem; é apenas uma parte determinada e essencial dela, é verdade. É ao mesmo tempo um produto social da faculdade da linguagem e um conjunto de convenções necessárias, adotadas pelo

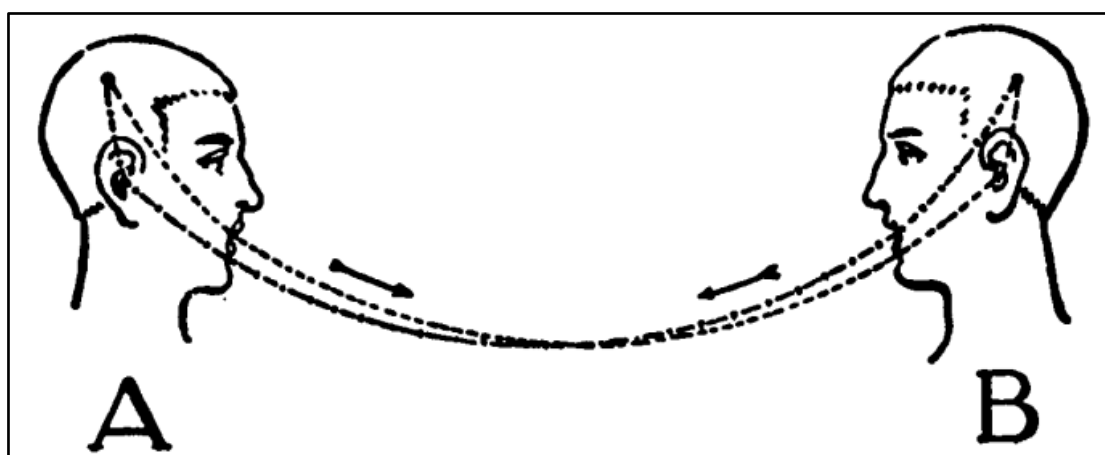
³⁰⁵ Trecho original: ““La tâche de la linguistique sera: a) de faire la description et l’histoire de toutes les langues qu’elle pourra atteindre, ce qui revient à faire l’histoire des familles de langues et à reconstituer dans la mesure du possible les langues mères de chaque famille; b) de chercher les forces qui sont en jeu d’une manière permanente et universelle dans toutes les langues, et de dégager les lois générales auxquelles on peut ramener tous les phénomènes particuliers de l’histoire; c) de se délimiter et de se définir elle-même”.

³⁰⁶ Trecho original: “Si nous étudions le langage par plusieurs côtés à la fois, l’objet de la linguistique nous apparaît un amas confus de choses hétéroclites sans lien entre elles. C’est quand on procède ainsi qu’on ouvre la porte à plusieurs sciences – psychologie, anthropologie, grammaire normative, philologie, etc., - que nous séparons nettement de la linguistique”.

corpo social para permitir o exercício dessa faculdade nos indivíduos³⁰⁷ (Ibidem, 1967, p. 25).

Ao distinguir a língua da linguagem Saussure propõe que “[...] a linguagem é multifacetada e heterogênea; abrangendo vários domínios, ao mesmo tempo físico, fisiológico e psíquico, e ainda pertence ao domínio individual e ao domínio social³⁰⁸ (Ibidem, 1967, p. 25). Nesse sentido, enquanto a linguagem corresponde a uma faculdade natural, ou não, como questiona Saussure, a língua é adquirida e estabelecida por meio de convenções sociais. Afinal, a língua ocorre mediante um ato individual entre dois indivíduos que estabelecem um “[...] circuito da fala³⁰⁹ (Ibidem, 1967, p. 27).

Figura 47- Circuito da fala.



Fonte: Saussure (1967, p. 27). A linguagem é uma faculdade que comporta a língua que permite estabelecer o circuito da fala mediante a comunicação entre duas pessoas. O ponto de partida do circuito está no cérebro, onde os conceitos estão correlacionados às representações dos signos linguísticos, ou seja, as imagens acústicas que são transmitidas por meio da fala. As setas indicam a direção da fala entre o emissor/receptor A e B.

Saussure menciona que ao separar a língua da fala “[...] separamos ao mesmo tempo: (1) o social do individual; (2) o essencial do acessório e mais ou menos accidental³¹⁰ (Ibidem, 1967, p. 30). Logo, a língua alude ao conjunto de

³⁰⁷ Trecho original: “Mais qu’est-ce que la langue? Pour nous elle ne se confond pas avec le langage; elle n’en est qu’une partie déterminée, essentielle, il est vrai. C’est à la fois un produit social de la faculté du langage et un ensemble de conventions nécessaires, adoptées par le corps social pour permettre l’exercice de cette faculté chez individus”.

³⁰⁸ Trecho original: “[...] le langage est multiforme et hétéroclite; à cheval sur plusieurs domaines, à la fois physique, physiologique et psychique, il appartient encore au domaine individuel et au domaine social”.

³⁰⁹ Trecho original: “[...] circuit de la parole”.

³¹⁰ Trecho original: “[...] on separe du même coup: 1° ce qui est social de ce qui est individuel; 2° ce qui est essentiel de ce qui est accessoire et plus ou moins accidentel”.

convenções sociais estabelecida por um grupo, enquanto a fala remete ao modo como o sujeito articula seu discurso. Sendo assim, a fala é um ato individual da vontade e da disposição intelectual do falante que mobiliza “[...] o mecanismo psicofísico que lhe permite exteriorizar essas combinações”³¹¹ (Ibidem, 1967, p. 31). Ou seja, apesar da língua e da fala serem elementos distintos que pertencem a uma mesma faculdade, isto é, a linguagem, a fala acaba refletindo a conjugação entre aspectos sócio linguísticos e pessoais.

Vale mencionar três outros conceitos propostos por Saussure: o signo, o significado e o significante.

“O signo linguístico não une uma coisa e um nome, mas um conceito e uma imagem acústica. Este não é o som material, uma coisa puramente física, mas a impressão psíquica desse som, a representação que o testemunho de nossos sentidos nos dá; é sensorial, e se por acaso o chamamos de «material», é apenas neste sentido e em oposição ao outro termo da associação, o conceito, que é geralmente mais abstrato”³¹² (Ibidem, 1967, p. 98, símbolo inserido pelo autor).

Sendo assim, o signo corresponde a uma entidade psíquica que possui duas faces que constituem uma unidade indissociável, sendo elas, o conceito também chamado de significado e a imagem acústica que é sinônimo de significante (Saussure, 1967). É interessante notar que o ente abstrato do signo, isto é, o conceito ou significado comporta a imagem acústica que não é material, pois o significante corresponde ao som articulado mentalmente, ou seja, o som da fala no pensamento. No entanto, Saussure infere que a imagem acústica impressa na psique representa a percepção material da fala. Nesse sentido, vale citar a hipótese do psicolinguista norte americano Thomas Bever³¹³, de que “[...] percebemos tudo duas vezes, uma vez como um objeto metonímico

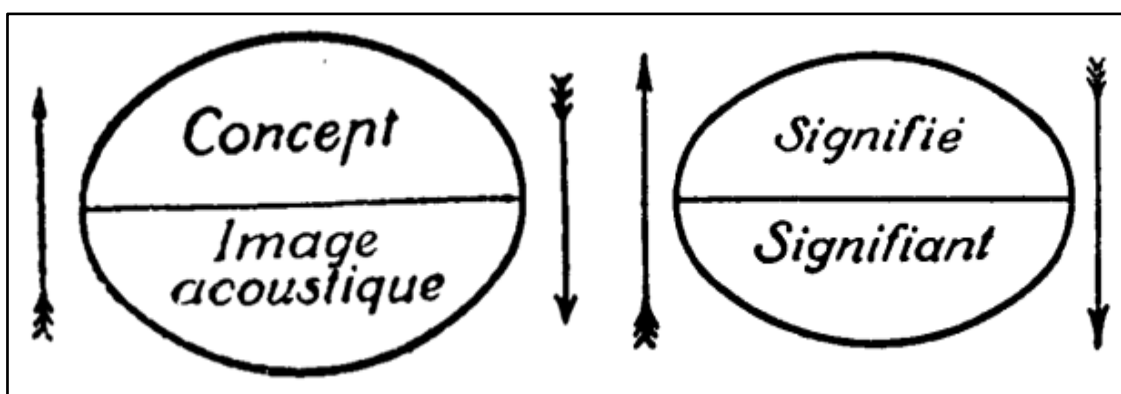
³¹¹ Trecho original: “[...] le mécanisme psycho-physique qui lui permet d’extérioriser ces combinaisons”.

³¹² Trecho original: “Le signe linguistique unit non une chose et un nom, mais un concept et une image acoustique. Cette dernière n’est pas le son matériel, chose puramente physique, mais l’empreinte psychique de ce son, la représentation que nous en donne le témoignage de nos sens; elle est sensorielle, et s’il nous arrive de l’appeler «matérielle», c’est seulement dans ce sens et par opposition à l’autre terme de l’association, le concept, généralement plus abstrait”.

³¹³ Thomas Bever, nascido em 1939.

esquemático, uma vez como imagem clara do objeto”³¹⁴ (Bever, 2001, p. 144). Ou seja, primeiro percebemos o som material da nossa própria fala ou de outra pessoa que em seguida será percebido internamente como um signo composto de uma imagem acústica e um conceito. Em outras palavras, a representação psíquica dos signos está correlacionada a percepção sensorial dos mesmos. Aliás, Saussure compara “[...] essa unidade de duas faces com a unidade do ser humano, composto de corpo e alma”³¹⁵ (Saussure, 1967, p. 145).

Figura 48- Duas faces da unidade do signo.



Fonte: Adaptado de Saussure (1967, p. 99 e 158). As flechas indicam a direção de codependência entre ambos os lados de um mesmo signo.

A propósito da relação entre a língua e o pensamento, Saussure sugere que:

“O papel característico da língua em relação ao pensamento não é criar um meio fônico material para a expressão de ideias, mas servir de intermediário entre pensamento e som, sob condições em que sua união necessariamente leva a delimitações recíprocas de unidades. [...] Não há, portanto, nem materialização dos pensamentos, nem espiritualização dos sons, mas trata-se desse fato um tanto misterioso que o «som-pensamento» envolve divisões e que a língua elabora suas unidades constituindo-se entre duas massas amorfas”³¹⁶ (Ibidem, 1967, p. 156, símbolo do autor).

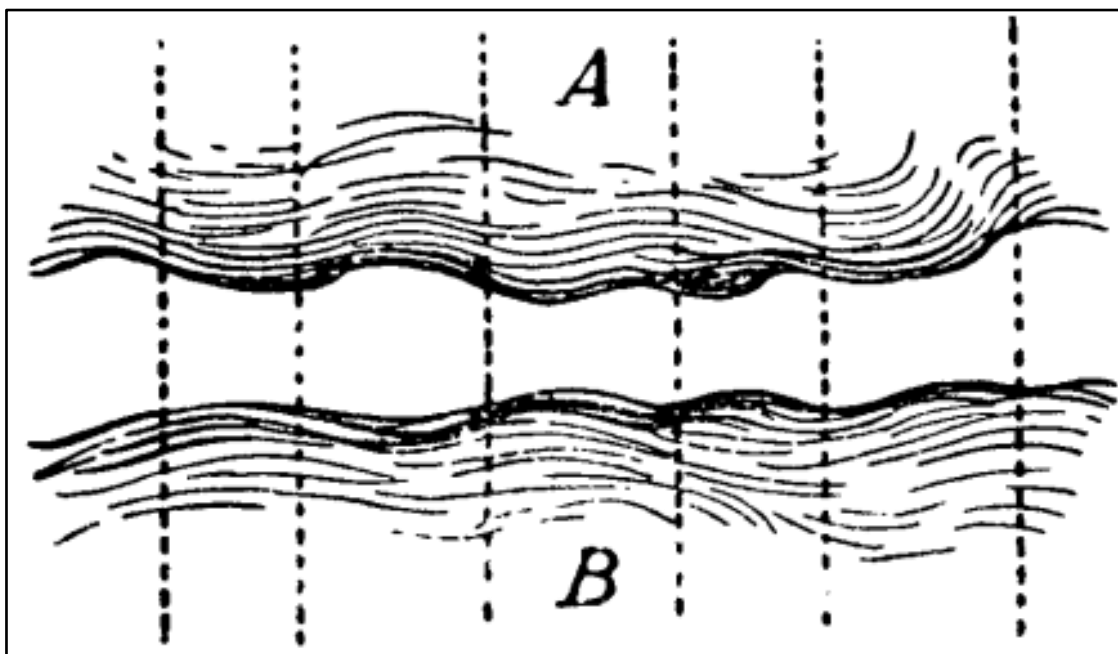
³¹⁴ Trecho original: “we perceive everything twice, once as a metonymously schematic object, once as clear image of the object”.

³¹⁵ Trecho original: “[...] cette unité à deux faces avec l’unité de la personne humaine, composée du corps et de l’âme”.

³¹⁶ Trecho original: “Le rôle caractéristique de la langue vis-à-vis de la pensée n’est pas de créer un moyen phonique matériel pour l’expression des idées, mais de servir d’intermédiaire entre la pensée et le son, dans des conditions telles que leur union aboutit nécessairement à des délimitations réciproques d’unités. [...] Il n’y a donc ni matérialisation des pensées, ni spiritualisation des sons, mais il s’agit de ce fait en quelque sorte mystérieux, que la «pensée-

Nessa perspectiva, a língua faz a mediação entre o pensamento e o som como um sistema de organização que acopla unidades recíprocas entre ambas as partes. A seguinte ilustração feita por Saussure exemplifica sua hipótese.

Figura 49- Acoplagem dos pensamentos e dos sons por intermédio da língua.



Fonte: Saussure (1967, p. 156). As linhas onduladas na horizontal em (A) representa o plano das ideias, enquanto as linhas estendidas em (B) aludem ao plano dos sons. Saussure considerava o pensamento como uma massa amorfa e indistinta, “[...] uma nebulosa onde nada está necessariamente delimitado”³¹⁷ e a substância fônica é “[...] uma matéria plástica que se divide, por sua vez, em partes distintas para fornecer os significantes dos quais o pensamento tem necessidade”³¹⁸ (Ibidem 1967, p. 155). As linhas pontilhadas na vertical representam uma série de subdivisões da qual a língua acopla ambos os planos. Sendo assim, cada articulação da língua possibilita que “[...] uma ideia se fixa num som e em que um som se torna o signo de uma ideia”³¹⁹ (Ibidem, 1967, p. 156).

Afinal, o linguista explica sua suposição por meio da seguinte comparação:

“A língua ainda é comparável a uma folha de papel: o pensamento é a frente e o som o verso; você não pode cortar a frente sem cortar as costas ao mesmo tempo; da mesma forma na língua não se pode isolar nem o som do pensamento, nem o pensamento do som; só se chegaria lá por uma abstração cujo resultado seria fazer uma psicologia pura ou

son» implique des divisions et que la langue elabore ses unités en se constituant entre deux masses amorphes”.

³¹⁷ Trecho original: “[...] une nébuleuse où rien n’est nécessairement delimité”.

³¹⁸ Trecho original: “[...] une matière plastique qui se divise à son tour en parties distinctes pour fournir les signifiants dont la pensée a besoin”.

³¹⁹ Trecho original: “[...] une idée se fixe dans un son et où un son devient le signe d’une idée”.

uma fonologia pura. A linguística trabalha, portanto, na terra limítrofe onde se combinam os elementos das duas ordens; *esta combinação produz uma forma, não uma substância*³²⁰ (Ibidem, 1967, p. 157, *itálico do autor*).

Recapitulando as inferências da linguística saussuriana, temos que a linguagem é uma faculdade multifacetada e heterogênea que comporta a língua, sendo está um produto sócio-linguístico estabelecido por um corpo de falantes que por meio do circuito da fala pode manifestar suas ideias. A correlação entre o pensamento e a substância fônica ocorre por intermédio da língua que funciona como um delimitador de unidades recíprocas entre ambos os vértices que são acoplados em uma unidade chamada signo. Cada signo é composto por um conceito/significado e uma imagem acústica/significante que correspondem à representação psíquica do mesmo, ou seja, o som-pensamento articulado silenciosamente. Aliás, enquanto a língua pertence a uma comunidade (esfera física), a fala remete ao conhecimento e a habilidade linguística de uma determinada pessoa (esfera psicofísica). Além do mais, ao considerar a língua como o principal objeto de estudo da ciência da linguagem, o pai da linguística moderna rompe com a visão tradicional de que a natureza da linguagem está intimamente ligada ao pensamento. Nessa perspectiva, Saussure concebe que a aquisição do conhecimento linguístico pela criança ocorre a partir das suas experiências e não por meio de um sistema inato como sugerido pelos filósofos racionalistas. Afinal, a teoria de Saussure ficou conhecida como estruturalismo ou linguística estrutural, pois considerava a arquitetura da língua uma rede de elementos constituídos de valores funcionalmente determinados que podem ser examinados por meio do método histórico comparatista de elementos fonéticos, semânticos e sintáticos de uma mesma língua ou entre diferentes (Fiorin, 2003).

Considerando as inferências teóricas desenvolvidas ao longo do século XVII e XVIII sobre a natureza da linguagem como um instrumento do pensamento, Chomsky (1998, p. 21), observou que tais reflexões foram

³²⁰ Trecho original: "La langue est encore comparable à une feuille de papier: la pensée est le recto et le son le verso; on ne peut découper le recto sans découper en même temps le verso; de même dans la langue, on ne saurait isoler ni le son de la pensée, ni la pensée du son; on n'y arriverait que par une abstraction dont le résultat serait de faire de la psychologie pure ou de la phonologie pure. La linguistique travaille donc sur le terrain limítrofe où les éléments des deux ordres se combinent; *cette combinaison produit une forme, non une substance*".

desenvolvidas durante “[...] a primeira revolução cognitiva [...] que foi parte da revolução científica que modificou tão radicalmente a nossa compreensão do mundo”³²¹. Esse movimento corresponde a investigação internalista ou nativista da natureza humana, ou seja, a visão de que o comportamento, assim como a cognição e suas faculdades da qual inclui a linguagem são organizadas estruturalmente e funcionalmente por meio de sistemas internos que subjazem suas manifestações. No entanto, apesar de Chomsky ter embasado suas ideias na concepção internalista da linguagem, seus trabalhos foram produzidos no contexto da “segunda revolução cognitiva” durante a década de cinquenta, cujo objetivo das pesquisas no campo das ciências humanas era examinar o comportamento humano, assim como os processos cognitivos por meio de experimentos empíricos, ou seja, a partir da visão externalista (Chomsky, 1997, p. 183). Aliás, as hipóteses teóricas de Saussure sobre a língua se enquadram na perspectiva externalista, pois a metodologia de pesquisa da ciência linguística foi embasada na análise comparativa do *corpus* como um produto sócio histórico. Afinal, um dos trabalhos que marcou a segunda revolução cognitiva da linguagem foi a obra “Comportamento Verbal”³²² escrita pelo psicólogo norte americano Frederic Skinner³²³.

O otimismo de Skinner para estudar o comportamento verbal provém do avanço de trabalhos experimentais que segundo ele:

“Novas técnicas experimentais e novas formulações revelaram um novo nível de ordem e precisão. Os processos e relações básicas que dão ao comportamento verbal suas características especiais são agora bem compreendidos. Grande parte do trabalho experimental responsável por esse avanço foi realizado em outras espécies, mas os resultados provaram ser surpreendentemente livres de restrições de espécies. Trabalhos recentes mostraram que os métodos podem ser estendidos ao comportamento humano sem modificações sérias. Além da possibilidade de extrapolar achados experimentais específicos, a formulação fornece uma nova e frutífera abordagem do

³²¹ Texto original redigido em português.

³²² Título original: “Verbal Behavior”.

³²³ Frederic Skinner, nascido em 1904, falecido em 1990.

comportamento humano em geral, e nos permite lidar de forma mais eficaz com essa subdivisão chamada verbal”³²⁴ (Skinner, 1967, p. 3).

Skinner destaca em sua obra que não se trata de um trabalho teórico no sentido usual, mas sim de formulações práticas embasadas em aplicações tecnológicas que tem como objetivo a previsão e o controle do comportamento verbal. Por exemplo, uma das ferramentas utilizadas para examinar o comportamento vocal, ou seja, o produto acústico da fala é o registro fonográfico que permite converter a gravação em uma “[...] forma visível que pode ser analisado para maior conveniência em espectros de intensidade de tom”³²⁵ (Skinner, 1967, p. 15). Além disso, o uso do alfabeto fonético também auxilia na análise do controle e predição do comportamento verbal. A energia empregada na emissão de uma resposta oral pode ser compreendida em termos de tudo ou nada, assim como o nível do tom da voz que pode:

“[...] ser tomado como um indicador de força”, [assim como] No comportamento verbal escrito, alguma indicação de força pode ser encontrada no tamanho das letras, na pressão da caneta, no sublinhado e assim por diante”³²⁶ (Ibidem, 1967, p. 23).

Aliás, o termo comportamento verbal remete a performance do falante que pode ser reforçado pela mediação de um ou mais indivíduos. Nesse sentido, “Os comportamentos do falante e do ouvinte juntos compõem o que pode ser chamado de episódio de fala total. [...] Nada “emerge” na unidade social”³²⁷ (Ibidem, 1967, p. 2, aspas do autor). É interessante pensar que o episódio de fala total lembra o que Saussure chamou de circuito da fala. Entretanto, o comportamento verbal para Skinner não se restringe a um produto social como

³²⁴ Trecho original: “New experimental techniques and fresh formulations have revealed a new level of order and precision. The basic processes and relations which give verbal behavior its special characteristics are now fairly well understood. Much of the experimental work responsible for this advance has been carried out on other species, but the results have proved to be surprisingly free of species restrictions. Recent work has shown that the methods can be extended to human behavior without serious modification. Quite apart from the possibility of extrapolating specific experimental findings, the formulation provides a fruitful new approach to human behavior in general, and enables us to deal more effectively, with that subdivision called verbal”.

³²⁵ Trecho original: “[...] into visible form and analyzed for greater convenience into pitch-intensity spectra”.

³²⁶ Trecho original: “[...] be taken as an indicator of strength, [...] In written verbal behavior some indication of strength may be found in the size of letters, pressure of the pen, underlining, and so on”.

³²⁷ Trecho original: “The behaviors of speaker and listener taken together compose what may be called a total speech episode. [...] Nothing “emerges” in the social unit”.

inferiu Saussure, mas sim a natureza comportamental do falante. Afinal, Skinner menciona que:

“A medida em que entendemos o comportamento verbal em uma análise "causal" deve ser avaliada a partir da medida em que podemos prever a ocorrência de instâncias específicas e, eventualmente, da medida em que podemos produzir ou controlar tal comportamento alterando as condições em que ocorre”³²⁸ (Ibidem, 1967, p. 3, aspas do autor).

De modo sucinto, Skinner objetiva pesquisar a esfera material da linguagem, ou seja, o comportamento verbal. A possibilidade de comparar dados empíricos da fala por meio de experimentos laboratoriais viabiliza inferir os meios pelo qual o falante pode ter seu comportamento alterado ou reforçado. Quer dizer, a previsão e o controle do comportamento verbal são analisados a partir do método causal comparativo que por meio da investigação qualitativa permite deduzir possíveis causas e efeitos sobre o *modus operandi* do falante e do ouvinte. Apesar das contribuições da abordagem comportamentalista de Skinner sua obra foi revisada por Chomsky em uma resenha publicada na revista “Linguagem”³²⁹ (1959) fundada pela “Sociedade Linguística da América”³³⁰. Chomsky faz o seguinte comentário no prefácio de uma reimpressão de 1967:

“Eu pretendia que esta revisão não fosse especificamente uma crítica às especulações de Skinner sobre a linguagem, mas sim uma crítica mais geral das especulações behavioristas (agora eu preferiria dizer ‘empiristas’) sobre a natureza dos processos mentais superiores. Minha razão para discutir o livro de Skinner com tantos detalhes foi que era a apresentação mais cuidadosa e completa de tal especulação... como, com efeito, uma *reductio ad absurdum* de suposições behavioristas [e empiristas]. Minha opinião pessoal é que é um mérito definitivo, não um defeito, do trabalho de Skinner que ele possa ser usado para esse propósito, e foi por essa razão que tentei lidar com isso de forma bastante exaustiva. Não vejo como suas propostas podem ser melhoradas, além de detalhes e omissões ocasionais, com

³²⁸ Trecho original: “The extent to which we understand verbal behavior in a "causal" analysis is to be assessed from the extent to which we can predict the occurrence of specific instances and, eventually, from the extent to which we can produce or control such behavior by altering the conditions under which it occurs”.

³²⁹ Título original: “Language”.

³³⁰ Título original: “Linguistic Society of America”.

o quadro das suposições gerais que ele aceita. Em outras palavras, não vejo nenhuma maneira pela qual suas propostas possam ser substancialmente melhoradas dentro da estrutura geral das ideias behavioristas ou neobehavioristas ou, mais geralmente, empiristas que dominaram grande parte da linguística, psicologia e filosofia moderna. A conclusão que eu esperava estabelecer na resenha, discutindo essas especulações em sua forma mais explícita e detalhada, era que o ponto de vista geral é em grande parte mitologia, e que sua ampla aceitação não é resultado de suporte empírico, raciocínio persuasivo, ou a ausência de uma alternativa plausível”³³¹ (Chomsky, 1967, p. 142, parênteses, aspas simples, colchetes e itálico do autor).

Basicamente, Chomsky inicia sua revisão recapitulando o objetivo do trabalho de Skinner que era identificar por meio da análise funcional da linguagem os meios pelo qual o comportamento verbal pode ser previsto, controlado e reforçado através da manipulação do ambiente físico do falante. Aliás, as variáveis que controlam o comportamento humano são descritas a partir das noções de estímulo, reforço e privação conforme os experimentos realizados com animais (Chomsky, 1959). O linguista salienta que sua principal surpresa decorre da:

“[...] maneira como os observáveis do comportamento deve ser estudados e, acima de tudo, a natureza particularmente simples da “função” que, segundo ele [Skinner], descreve a causa do comportamento. Essas características do organismo são, em geral, um produto complicado da estrutura inata, do curso de maturação geneticamente determinado e da experiência passada. Na medida em

³³¹ Trecho original: “I had intended this review not specifically as a criticism of Skinner’s speculations regarding language, but rather as a more general critique of behaviorist (I would now prefer to say ‘empiricist’) speculations as to the nature of higher mental processes. My reason for discussing Skinner’s book in such detail was that it was the most careful and thoroughgoing presentation of such speculation... Therefore, if the conclusions I attempted to substantiate in the review are correct, as I believe they are, then Skinner’s work can be regarded as, in effect, a *reductio ad absurdum* of behaviorist [and empiricist] assumptions. My personal view is that it is a definite merit, not a defect, of Skinner’s work that it can be used for this purpose, and it was for this reason that I tried to deal with it fairly exhaustively. I do not see how his proposals can be improved upon, aside from occasional details and oversights, with the framework of the general assumptions that he accepts. I do not, in other words, see any way in which his proposals can be substantially improved within the general framework of behaviorist or neobehaviorist, or, more generally, empiricist ideas that has dominated much of modern linguistics, psychology, and philosophy. The conclusion that I hoped to establish in the review, by discussing these speculations in their most explicit and detailed form, was that the general point of view is largely mythology, and that its widespread acceptance is not the result of empirical support, persuasive reasoning, or the absence of a plausible alternative”.

que evidências neurofisiológicas independentes não estão disponíveis, é óbvio que as inferências sobre a estrutura do organismo são baseadas na observação do comportamento e de eventos externos. No entanto, a estimativa da importância relativa dos fatores externos e da estrutura interna na determinação do comportamento terá um efeito importante na direção da pesquisa sobre o comportamento linguístico (ou qualquer outro) e sobre os tipos de analogias com estudos de comportamento de animais que serão considerados relevantes ou sugestivos”³³² (Ibidem, 1959, p. 27, aspas e parênteses do autor).

Sendo assim, Chomsky desaprova a tese defendida por Skinner de que o conjunto de estímulos incorporados sensorialmente, juntamente com as respostas emitidas pelo comportamento fornecem as bases para compreender a complexidade do comportamento humano como um todo do qual inclui o domínio linguístico. Portanto, as conclusões apresentadas por Skinner são tomadas como grosseiras e superficiais, pois ousa “[...] acomodar o comportamento humano envolvendo faculdade mentais superiores dentro de um esquema behaviorista estrito”³³³ (Ibidem, 1959, p. 28). Apesar da riqueza e diversidade de exemplos expostos por Skinner, Chomsky sugere que é preciso decompor a análise funcional do comportamento verbal em termos mais precisos. Logo, justificar o resultado dos experimentos com base no estímulo, resposta e reforço parece vago e arbitrário. Aliás, a própria definição do termo “comportamento verbal” como “[...] “comportamento reforçado através da mediação de outras pessoas”. [...] parece estar grosseiramente errada”³³⁴ (Ibidem, 1959, p. 44 - 45, aspas do autor). Afinal, Chomsky menciona que as

³³² Trecho original: “[...] the way in which the observables of behavior are to be studied, and, above all, the particularly simple nature of the 'function' which, he claims, describes the causation of behavior. One would naturally expect that prediction of the behavior of a complex organism (or machine) would require, in addition to information about external stimulation, knowledge of the internal structure of the organism, the ways in which it processes input information and organizes its own behavior. These characteristics of the organism are in general a complicated product of inborn structure, the genetically determined course of maturation, and past experience. Insofar as independent neurophysiological evidence is not available, it is obvious that inferences concerning the structure of the organism are based on observation of behavior and outside events. Nevertheless, one's estimate of the relative importance of external factors and internal structure in the determination of behavior will have an important effect on the direction of research on linguistic (or any other) behavior, and on the kinds of analogies from animal behavior studies that will be considered relevant or suggestive”.

³³³ Trecho original: “[...] accommodate human behavior involving higher mental faculties within a strict behaviorist schema”.

³³⁴ Trecho original: “[...] “behavior reinforced through the mediation of other persons”. [...] appears to be grossly in error”.

especulações sobre o processo de aquisição da linguagem proposto por Skinner são irremediavelmente prematuras. Na perspectiva de Skinner:

“Uma criança adquire comportamento verbal quando vocalizações relativamente não padronizadas, seletivamente reforçadas, gradualmente assumem formas que produzem consequências apropriadas em uma dada comunidade verbal. [...] Os estímulos prévios são, entretanto, importantes no controle do comportamento verbal. Eles são importantes porque entram em uma contingência de reforço de três termos que pode ser expressa da seguinte maneira: na presença de um determinado estímulo, uma determinada resposta é caracteristicamente seguida por um determinado reforço. Tal contingência é uma propriedade do ambiente. Quando prevalece, o organismo não apenas adquire a resposta que obtém o reforço, mas torna-se mais propenso a emitir essa resposta na presença do estímulo anterior”³³⁵ (Ibidem, 1959, p. 31).

Além disso:

“A criança sozinha no berçário pode reforçar automaticamente seu próprio comportamento vocal exploratório quando produz sons que ouviu na fala de outras pessoas. A propriedade de auto-reforço pode ser meramente uma entonação ou alguma outra idiosincrasia de um determinado falante ou de falantes em geral”³³⁶ (Ibidem, 1959, p. 58).

Finalmente:

“Pequenas respostas ecóicas [repetir o estímulo percebido] podem ser reforçadas pelos pais e outros com o propósito expresso de construir tal repertório. A criança é ensinada a repetir pequenos padrões sonoros como *ã*, *sp* e assim por diante. Tal repertório ecóico básico pode ser adquirido ao mesmo tempo que outras formas de comportamento verbal ou unidades ecóicas ainda maiores. A criança pode emitir

³³⁵ Trecho original: “A child acquires verbal behavior when relatively unpatterned vocalizations, selectively reinforced, gradually assume forms which produce appropriate consequences in a given verbal community. [...] Prior stimuli are, however, important in the control of verbal behavior. They are important because they enter into a three-term contingency of reinforcement which may be stated in this way: in the presence of a given stimulus, a given response is characteristically followed by a given reinforcement. Such a contingency is a property of the environment. When it prevails, the organism not only acquires the response which achieves reinforcement, it becomes more likely to emit that response in the presence of the prior stimulus”.

³³⁶ Trecho original: “The young child alone in the nursery may automatically reinforce his own exploratory vocal behavior when he produces sounds which he has heard in the speech of others. The self-reinforcing property may be merely an intonation or some other idiosyncrasy of a given speaker or of speakers in general”.

respostas tão grandes quanto sílabas, palavras ou mesmo frases como operantes ecóicos unitários. Para ajudar a ecoar um novo estímulo, no entanto, ele recorre ao repertório de um único som”³³⁷ (Ibidem, 1959, p. 62).

Com base nas hipóteses defendidas por Skinner é possível inferir que o processo de aprendizado da língua materna, isto é, a aquisição do comportamento verbal pelo bebê ocorre por meio da tríade: estímulo, reforço e resposta. Ou seja, o recém-nascido incorpora o estímulo linguístico oriundo dos pais ou da comunidade de falantes que são consolidados por meio de associações com o ambiente que podem ser auto-reforçados pela criança. Portanto, a aquisição do comportamento verbal depende exclusivamente de estímulos oriundos do meio externo, salientando assim a concepção externalista de Skinner sobre a natureza estrutural e funcional da linguagem. Entretanto, Chomsky ressalta que “Se o estudo da linguagem for limitado dessa maneira, parece inevitável que os principais aspectos do comportamento verbal permaneçam um mistério”³³⁸ (Chomsky, 1959, p. 58).

“No que diz respeito à aquisição da linguagem, parece claro que o reforço, a observação casual e a curiosidade natural (juntamente com uma forte tendência a imitar) são fatores importantes, assim como a notável capacidade da criança de generalizar, formular hipóteses e “processar informação” em uma variedade de maneiras muito especiais e aparentemente altamente complexas que ainda não podemos descrever ou começar a entender, e que podem ser em grande parte inatas, ou podem se desenvolver por meio de algum tipo de aprendizado ou maturação do sistema nervoso. A maneira pela qual tais fatores operam e interagem na aquisição da linguagem é completamente desconhecida. É claro que o que é necessário em tal caso é pesquisa, não afirmações dogmáticas e perfeitamente arbitrárias, baseadas em analogias com aquela pequena parte da

³³⁷ Trecho original: “Small echoic responses may be reinforced by parents and others for the express purpose of building such a repertoire. The child is taught to repeat small sound-patterns such as *ã*, *sp*, and so on. Such a basic echoic repertoire may be acquired at the same time as other forms of verbal behavior or even larger echoic units. The child may emit responses as large as syllables, words, or even sentences as unitary echoic operants. For help in echoing a novel stimulus, however, he falls back upon the single-sound repertoire”.

³³⁸ Trecho original: “If the study of language is limited in these ways, it seems inevitable that major aspects of verbal behavior will remain a mystery”.

literatura experimental na qual nos interessamos”³³⁹ (Ibidem, 1959, p. 43, parênteses e aspas do autor).

Diante disso, Chomsky reforça a compreensão de que a aquisição da linguagem não pode ser reduzida ao mero mimetismo de estruturas fonológicas de uma língua. Apesar do *input* linguístico e do *feedback* serem relevantes para o processo de aquisição do comportamento verbal é essencial considerar os mecanismos estruturais e funcionais que operam no vértice interno do falante. Em suma, a disparidade de ideias entre Skinner e Chomsky reflete o posicionamento epistemológico dos pesquisadores que exemplifica a visão externalista e internalista da natureza da linguagem. Afinal, o confronto entre a primeira e a segunda revolução cognitiva da linguagem estimula uma crise do conhecimento científico que pode promover o progresso das pesquisas sobre os mecanismos internos e externos envolvidos com a linguagem.

6.2 - Teoria da linguagem de Noam Chomsky

O interesse em investigar e conhecer a natureza da linguagem levou Chomsky a redigir sua dissertação em linguística com a qual obteve o título de doutor em filosofia pelo “Instituto de Tecnologia do Massachusetts”³⁴⁰ (MIT), com a tese intitulada “Análise transformacional”³⁴¹ (1955), que posteriormente foi publicado em forma de livro com o título “A Estrutura Lógica da Teoria Linguística”³⁴² (1955). No início da obra Chomsky escreve que:

“Este é basicamente um estudo do arranjo de palavras e morfemas em frases, portanto, um estudo da forma linguística. Assim, é um estudo

³³⁹ Trecho original: “As far as acquisition of language is concerned, it seems clear that reinforcement, casual observation, and natural inquisitiveness (coupled with a strong tendency to imitate) are important factors, as is the remarkable capacity of the child to generalize, hypothesize, and 'process information' in a variety of very special and apparently highly complex ways which we cannot yet describe or begin to understand, and which may be largely innate, or may develop through some sort of learning or through maturation of the nervous system. The manner in which such factors operate and interact in language acquisition is completely unknown. It is clear that what is necessary in such a case is research, not dogmatic and perfectly arbitrary claims, based on analogies to that small part of the experimental literature in which one happens to be interested”.

³⁴⁰ Nome original: “Massachusetts Institute of Technology”.

³⁴¹ Título original: “Transformational Analysis”.

³⁴² Título original: “The Logical Structure of Linguistics Theory”.

sintático tanto no sentido estrito (em oposição à fonologia) quanto no sentido mais amplo (em oposição à semântica)”³⁴³ (Chomsky, 1955, p. 2).

O linguista sugere que o estudo seja entendido como:

“[...] um programa de pesquisa, ou seja, um modelo específico de descrição sintática a ser testado e elaborado. As seguintes investigações são divididas aproximadamente igualmente entre a construção da teoria e a aplicação da teoria ao material linguístico”³⁴⁴ (Ibidem, 1955, p. 4).

Portanto o livro deu início a um programa de pesquisa sobre a gramática da linguagem no sentido estrito, mas comportava a investigação do mecanismo sintático que estabelece a organização estrutural de uma sentença, ou seja, a sintaxe no sentido amplo. Segundo Chomsky é preciso elaborar uma “[...] teoria geral como um sistema formal abstrato” com base no material linguístico analisado (Ibidem, 1955, p. 8). Ou seja, para formular uma teoria geral das regras gramaticais que estabelecem a combinação entre as palavras de uma língua é preciso estudar seu *corpus* linguístico. Chomsky compreende que “[...] uma gramática "gera" um certo conjunto de enunciados com base em uma determinada amostra observada”³⁴⁵ (Ibidem, 1955, p. 7, aspas do autor). Dessa forma, mesmo que um falante domine um conjunto finito de palavras, as regras de combinação gramatical permitem formar longos períodos, assim como produzir incontáveis enunciados. É importante salientar que a principal característica funcional da gramática para Chomsky é gerar uma quantidade indeterminada de sentenças a partir de um conjunto restrito de informações linguísticas. Tal concepção remete as hipóteses de Humboldt e Descartes, além de outros intelectuais como descrito e examinado anteriormente. Chomsky menciona que:

³⁴³ Trecho original: “This is basically a study of the arrangement of words and morphemes in sentences, hence a study of linguistic form. Thus it is syntactic study in both the narrow sense (as opposed to phonology) and in the broader sense (as opposed to semantics)”.

³⁴⁴ Trecho original: “[...] a program of research, i.e., a specific model for syntactic description to be tested and elaborated. The following investigations are divided approximately equally between theory construction and application of the theory to linguistic material”.

³⁴⁵ Trecho original: “[...] a grammar can thus be said to "generate" a certain set of utterances on the basis of a given observed sample”.

"[...] vemos que a pesquisa linguística tem dois aspectos. Ela visa fornecer para cada língua uma teoria da estrutura dessa língua (ou seja, uma gramática), e ao mesmo tempo desenvolver uma teoria geral da estrutura linguística das quais cada uma dessas gramáticas apresentará um modelo. As gramáticas particulares e a teoria geral devem estar intimamente relacionadas para que alguma técnica prática esteja disponível para decidir entre duas gramáticas propostas sobre qual exemplifica melhor a teoria geral"³⁴⁶ (Chomsky, 1995, p. 10, parênteses do autor).

Nesse sentido, o programa de pesquisa da linguística chomskiana trabalha com a análise de dados de uma língua específica, mas objetiva elaborar uma teoria geral da linguagem. Portanto, "[...] a linguística não está interessada apenas na gramática de línguas particulares, mas também no desenvolvimento de uma teoria geral das estruturas linguísticas"³⁴⁷ (Ibidem, 1995, p. 12). Por isso, Chomsky sugere que o trabalho do linguista não deve se limitar ao exame empírico do comportamento verbal de um falante ou de sua comunidade como defendia Skinner, mas se estende para a elaboração de uma teoria sobre a arquitetura geral da linguagem.

Segundo as inferências elaboradas por Chomsky a parte material da linguagem, isto é, o componente fonético e semântico das palavras e sentenças fazem parte de um conjunto de operações primitivas que se inter-relacionam por meio de uma teoria geral que precede o jogo matemático do linguista. Ou seja, o pesquisador deve examinar e conhecer as regras gramaticais que determinam a forma como os primitivos da linguagem se combinam. Portanto, o linguista não deve se deter apenas no exame do comportamento verbal, mas sim recorrer a alternativa mentalista para investigar os mecanismos gramaticais que antecedem as operações primitivas. Sendo assim, é preciso conhecer o papel da intuição linguística e do significado semântico para que seja possível construir

³⁴⁶ Trecho original: "[...] we see that linguistic research has two aspects. It aims to provide for each language a theory of the structure of that language (i.e., a grammar), and at the same time to develop a general theory of linguistic structure of which each of these grammars will present a model. The particular grammars and the general theory must be closely enough related so that some practical technique be available for deciding between two proposed grammars as to which better exemplifies the general theory".

³⁴⁷ Trecho original: "[...] linguistics is not only interested in grammar of particular languages, but also in developing a general theory of linguistic structures".

uma teoria geral, mesmo que “A única coisa que o significado e a intuição têm em comum é sua obscuridade [conceitual]”³⁴⁸ (Ibidem, 1955, p. 36).

A correlação entre um sistema formal abstrato (gramática no sentido estrito) e a organização estrutural do *corpus* linguístico (gramática no sentido amplo) aparece nas entrelinhas da seguinte citação:

“O linguista deve determinar quantas formas distintas constituem seu corpus, e quais formas não estão em seu corpus devem ser descritas pela gramática. No primeiro caso, ele se baseia na sinonímia (ou seja, na diferença de significado) e no segundo, na significância (ou seja, a gramática deve descrever exatamente o significado ou os significados das sentenças)”³⁴⁹ (Ibidem, 1955, p. 38, parênteses do autor).

Para exemplificar a natureza estrutural da gramática Chomsky examina a seguinte sentença: “ideias verdes incolores dormem furiosamente”³⁵⁰ (Ibidem, 1955, p. 38). Se por um lado o *corpus* está gramaticalmente correto, por outro a sentença está sem sentido. Portanto, “[...] pode-se argumentar que o estabelecimento de sua não significância está fora do domínio da gramática”³⁵¹ (Ibidem, 1955, p. 38). Ou seja, a estrutura da gramática aparece separada do sentido. De acordo com o linguista:

“Sabemos que um falante da língua, com base em uma experiência linguística finita, pode selecionar, entre sequências que nunca ouviu, certas sentenças gramaticais, e que fará isso da mesma maneira que outros falantes”³⁵² (Ibidem, 1955, p. 39).

Chomsky ilustra sua observação com a mesma sentença utilizada anteriormente, porém combinada de outra forma: “furiosamente ideias verdes incolores dormem”³⁵³ (Ibidem, 1955, p. 39). Ao questionar como essa habilidade

³⁴⁸ Trecho original: “The only thing that meaning and intuition have in common is their obscurity”.

³⁴⁹ Trecho original: “The linguist must determine how many distinct forms constitute his corpus, and which forms not in his corpus must be described by the grammar. In the first case, he relies on synonymy (e.e., on difference in meaning), and in the second, on significance (i.e., the grammar must describe exactly the significant or meaningful sentences)”.

³⁵⁰ Trecho original: “colorless green ideas sleep furiously”.

³⁵¹ Trecho original: “[...] it can certainly be argued that the establishment of their non-significance falls outside the domain of grammar”.

³⁵² Trecho original: “We know that a speaker of the language, on the basis of a finite linguistic experience, can select, among sequences that he has never heard, certain grammatical sentences, and that he will do this in much the same way as other speakers”.

³⁵³ Trecho original: “furiously sleep ideas green colorless”.

ocorre o linguista sugere que o falante possui um senso intuitivo de gramaticalidade. Afinal:

“A questão é simplesmente que o duplo programa de pesquisa linguística tem objetivos distintos, mas inter-relacionados, a construção de uma teoria geral, na qual termos como "gramatical" são definidos, e a construção de gramáticas validadas pela demonstração que seguem da teoria. Este programa dual só é alcançado significativamente quando fornece uma descrição sistemática e integrada de uma boa parte do comportamento linguístico, e uma explicação da intuição linguística, etc”³⁵⁴ (Ibidem, 1955, p. 41, aspas do autor).

Considerando a importância de investigar a correlação entre o comportamento verbal e a intuição linguística para desenvolver uma teoria geral da estrutura da linguagem, Chomsky sugere que é preciso segmentar as informações em uma sucessão de unidades discretas. Portanto, três sistemas distintos, porém inter-relacionados constituem o *corpus* de uma sentença. O primeiro nível corresponde a sequência de “símbolos fone” (phone tokens), enquanto o segundo representa a sucessão de fonemas (phonemes), que comportam as propriedades acústicas ou articulatórias da fala. Ambos estão no nível baixo dos elementos linguísticos, enquanto o terceiro corresponde ao nível alto, sendo este formado por morfemas, palavras e frases que determinam os “[...] princípios de construção e frases que dificilmente poderiam ser enunciados diretamente em termos de fonemas” (Ibidem, 1955, p. 49). Nas palavras do autor:

“Um atributo da sentença pode ser representado como uma sequência de fones e como uma sequência de fonemas. Mas também pode ser representado como uma sequência de morfemas ou uma sequência de palavras e, de várias maneiras, como uma sequência de frases. Assim, cada atributo da sentença terá associado a si todo um conjunto de representações, sendo cada representação sua "ortografia" em termos

³⁵⁴ Trecho original: “The point is simply that the two-fold program of linguistic research has as distinct but interrelated goals the construction of a general theory, in which terms like "grammatical" are defined, and the construction of grammars validated by the demonstration that they follow from the theory. This dual program is significantly achieved only when it provides a systematic and integrated account of a good deal of linguistic behavior, an explanation of linguistic intuition, etc”.

de elementos de um nível linguístico”³⁵⁵ (Ibidem, 1955, p. 49, aspas do autor).

Chomsky salienta que “A gramática de uma língua deve nos dizer exatamente quais são os atributos da sentença gramatical e exatamente como eles são representados em cada nível”³⁵⁶ (Ibidem, 1955, p. 50). Portanto, a elaboração de uma teoria geral da estrutura linguística requer um exame minucioso dos elementos constituintes do *corpus* em seus diferentes níveis. Chomsky conclui que:

“Nosso objetivo é construir gramáticas simples que expliquem e fundamentem as intuições linguísticas do falante nativo e que descrevam de forma sistemática aspectos selecionados do seu comportamento linguístico”³⁵⁷ (Ibidem, 1955, p. 53).

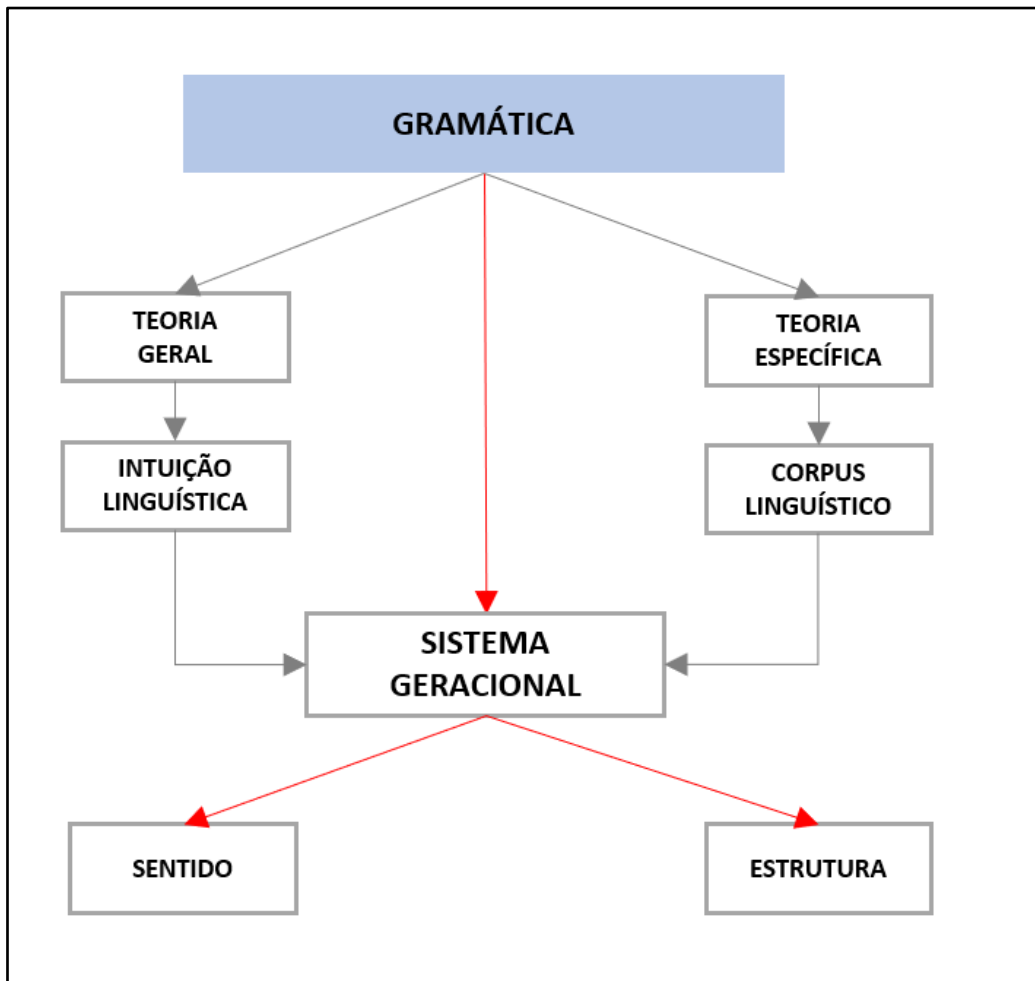
Sumarizando as ideias anteriores podemos concluir que o programa de pesquisa chomskyano objetivou construir e desenvolver uma teoria geral da estrutura da linguagem com base na intuição linguística do falante e no comportamento verbal. O estudo do arranjo estrutural das palavras em uma sentença revelou que um mesmo período pode estar gramaticalmente correto, porém sem sentido. Logo, o sentido da sentença está de certo modo desatado dos atributos gramaticais da sentença. Por esse motivo, Chomsky separa a gramática no sentido estrito (interpretação), e amplo (arranjo das palavras). Afinal, a capacidade de produzir um número indeterminado de frases, orações ou sentenças a partir de um conjunto finito de palavras ou morfemas acentua a compreensão de que a gramática é um sistema gerador da linguagem. O seguinte esquema ilustra a concepção geral do programa de pesquisa concebido por Chomsky:

³⁵⁵ Trecho original: “A sentence token can be represented as a sequence of phones and as a sequence of phonemes. But it can also be represented as a sequence of morphemes, a sequence or words, and, in various ways, as a sequence of phrases. Thus, each sentence token will have associated with it a whole set of representations, each representation being its "spelling" in terms of elements of one linguistic level”.

³⁵⁶ Trecho original: “A grammar of a language must tell us exactly what are the grammatical sentence tokens, and exactly how these are represented on each level”.

³⁵⁷ Trecho original: “Our aim is to construct simple grammars which explain and ground the linguistic intuitions of the native speaker, and which describe in a systematic way selected aspects of his linguistic behavior”.

Figura 50 - Programa de pesquisa da gramática da linguagem.



Fonte: Produção do próprio autor. O estudo da gramática requer a elaboração de uma teoria geral que explique como a intuição linguística do falante reconhece e gera sentenças gramaticalmente corretas. Assim como busca construir uma teoria específica da gramática de uma língua por meio da análise do *corpus*. As setas vermelhas simbolizam que a gramática é um sistema geracional de sentenças que podem estar gramaticalmente corretas no nível estrutural (sintaxe no sentido amplo), porém sem sentido (sintaxe no sentido estrito).

Dois anos após seu primeiro livro Chomsky publicou a obra “Estruturas Sintáticas”³⁵⁸ (1957), que difundiu sua teoria da gramática gerativo-transformacional.

“De agora em diante, considerarei uma *linguagem* como um conjunto (finito ou infinito) de sentenças, cada uma finita em comprimento e construída a partir de um conjunto finito de elementos. Todas as línguas naturais em sua forma falada ou escrita são línguas nesse sentido, pois cada língua natural tem um número finito de fonemas (ou letras em seu alfabeto) e cada sentença é representável como uma

³⁵⁸ Título original: “Syntactic Structures”.

seqüência finita desses fonemas (ou letras), embora existam infinitas frases”³⁵⁹ (Chomsky, 2002, p. 2, itálico e parênteses do autor).

Chomsky inicia seu livro salientando a observação constatada em seu primeiro trabalho que é preciso diferenciar a gramática e o sentido, ou seja, as regras gramaticais são separadas do sentido da sentença. O autor retoma o exemplo das citações “ideias verdes incolores dormem furiosamente e furiosamente dorme ideias verdes incolores” para reforçar a concepção de que a “[...] gramática é autônoma e independente do sentido”³⁶⁰ (Ibidem, 2002, p. 17). Ou seja, uma frase, oração ou sentença pode estar gramaticalmente correta, porém não possui nenhum sentido. Além disso, a gramática funciona como um sistema gerador da linguagem, quer dizer, gera uma infinidade de sentenças a partir de um conjunto finito de palavras ou morfemas. Chomsky menciona o seguinte exemplo seguido de uma ilustração para exemplificar como uma sentença é produzida:

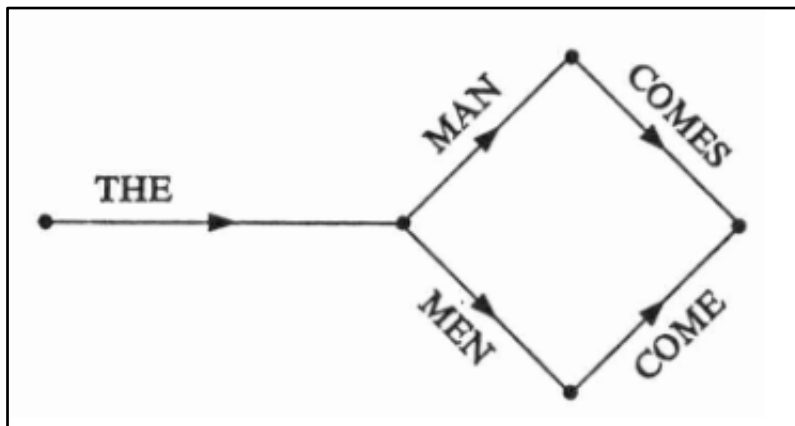
“Suponha que tenhamos uma máquina que pode estar em qualquer número finito de estados internos diferentes, e suponha que essa máquina mude de um estado para outro produzindo um certo símbolo (digamos, uma palavra em inglês). Um desses estados é um estado inicial; outro é um estado final. Suponha que a máquina comece no estado inicial, percorra uma seqüência de estados (produzindo uma palavra a cada transição) e termine no estado final. Então chamamos a seqüência de palavras que foi produzida de “frase””³⁶¹ (Ibidem, 2002, p. 18 – 19, parênteses e aspas do autor).

³⁵⁹ Trecho original: “From now on I will consider a *language* to be a set (finite or infinite) of sentences, each finite in length and constructed out of a finite set of elements. All natural languages in their spoken or written form are languages in this sense, since each natural language has a finite number of phonemes (or letters in its alphabet) and each sentence is representable as a finite sequence of these phonemes (or letters), though there are infinitely many sentences”.

³⁶⁰ Trecho original: “[...] grammar is autonomous and independent of meaning”.

³⁶¹ Trecho original: “Suppose that we have a machine that can be in any one of a finite number of different internal states, and suppose that this machine switches from one state to another by producing a certain symbol (let us say, an English word). One of these states is an initial state; another is a final state. Suppose that the machine begins in the initial state, runs through a sequence of states (producing a word with each transition), and ends in the final state. Then we call the sequence of words that has been produced a “sentence””.

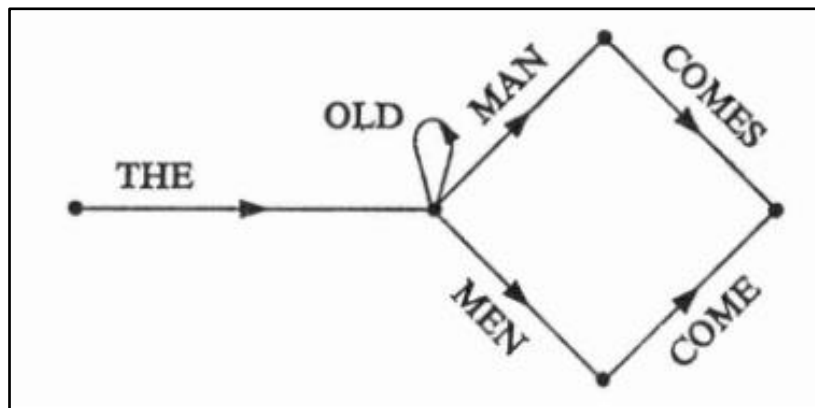
Figura 51 - Diagrama da máquina de sentenças.



Fonte: (Chomsky, 2002, p. 19). O estado inicial da máquina começa com a palavra “The” e seu estado final resulta na produção de duas frases: “The man comes” ou “The men come”. A frase no canto superior direito do quadrado está no singular e no lado inferior no plural. Chomsky sugere que “As máquinas que produzem linguagens dessa maneira são conhecidas matematicamente como “processos de Markov de estado finito””³⁶² (Ibidem, 2002, p. 20, aspas do autor).

Além disso, para produzir um número infinito de sentenças basta adicionar um circuito fechado como mostra a próxima imagem:

Figura 52 - Diagrama da máquina de sentenças com loop.



Fonte: Ibidem (2002, p. 19). O estado inicial da máquina começa com a palavra “The” e seu estado final resulta na produção de incontáveis frases que são produzidas por meio da adição da palavra “old”. Por exemplo: “[...] “the old man comes”, “the old old man comes”, ..., “the old men come”, “the old old men come”, ...”³⁶³ (Ibidem, 2002, p. 19). Segundo Chomsky o núcleo da linguagem em termos de gramática, isto é, frases básicas (simples, declarativa, ativa, sem verbos ou frases nominais complexas), podem ser definidas como o conjunto de sentenças produzidas por meio de transformações possivelmente repetidas (Ibidem, 2002).

³⁶² Trecho original: “The machines that produce languages in this manner are know mathematically as “finite state Markov processes””. Para mais informações sugerimos a obra “A teoria matemática da comunicação” (Shannon, 1948).

³⁶³ Trecho original: “[...] o velho homem vem, o velho velho homem vem,..., os velhos homens vem, os velhos velhos homens vem,...”.

Chomsky observou que uma sentença ou em sua terminologia “uma *string* de palavras” pode ser transformada em um ou mais períodos que compõe uma nova sequência de palavras. Essa característica de gerar e transformar sentenças motivou o linguista a nomear sua teoria de gramática gerativo-transformacional. Aliás, como descrito anteriormente o termo “generativo” apareceu no conceito de linguagem proposto por Humboldt como uma atividade geradora (*erzeugen*). Sobre a concepção de *string* de palavras o linguista sugere que:

“Os elementos (ou “vocabulário”) [...] serão para o inglês, representações de cadeias de palavras como Sentença, Frase Nominal (NP), Frase Verbal (VP), Substantivo [Noun] (N), Verbo (V), etc., bem como elementos correspondentes a palavras individuais e os morfemas gramaticalmente funcionais”³⁶⁴ (Chomsky, 1955, p. 193, parênteses, aspas e sublinhado do autor).

Para ilustrar o tipo de informação que pode ser analisado em uma string de palavras vale citar o seguinte exemplo:

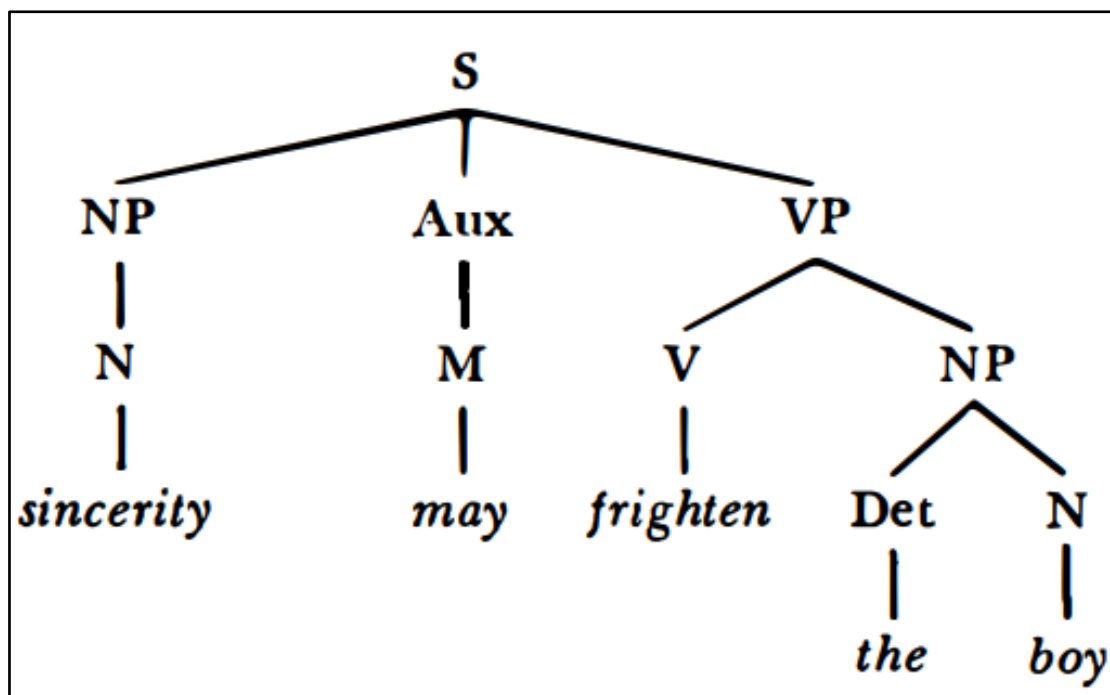
“(1) a sinceridade pode assustar o menino. [*sincerity may frighten the boy*]. Com relação a essa frase, uma gramática tradicional [Inglês] pode fornecer informações do seguinte tipo: [...] a string em (1) é uma Sentença [Sentence] (S); *assustar o menino* é uma Frase Verbal [Verbal Phrase] (VP) que consiste no Verbo [Verb] (V) *assustar* e na frase nominal [Noun Phrase] (NP) *o menino*; *sinceridade* também é um NP; o NP *o menino* consiste de um Determinante [Determiner] (Det) *the*, seguido por um Substantivo [Noun] (N); o NP *sincerity* consiste de apenas um N; *the is*, além disso, um Artigo [Article] (Art); *may* é um Auxiliar Verbal [Verbal Auxiliary] (Aux) e, além do mais, um Modal [Modal] (M)”³⁶⁵ (Chomsky, 1965, p. 63, parênteses e itálico do autor).

³⁶⁴ Trecho original: “The elements (or “vocabulary”) [...] will be for English, such representations of strings of words as Sentence, Noun Phrase (NP), Verb Phrase (VP), Noun (N), Verb (V), etc., as well as elements corresponding to individual words and the grammatically functioning morphemes”.

³⁶⁵ Trecho original: “(1) *sincerity may frighten the boy*. Concerning this sentence, a traditional grammar might provide information of the following sort: [...] the string (1) is a Sentence (S); *frighten the boy* is a Verb Phrase (VP) consisting of the Verb (V) *frighten* and the Noun Phrase (NP) *the boy*; *sincerity* is also an NP; the NP *the boy* consists of the Determiner (Det) *the*, followed by a Noun (N); the NP *sincerity* consists of just an N; *the is*, furthermore, an Article (Art); *may* is a Verbal Auxiliary (Aux) and, furthermore, a Modal (M)”.

As mesmas informações podem ser representadas em forma de diagrama de árvore:

Figura 53 - Diagrama de árvore.



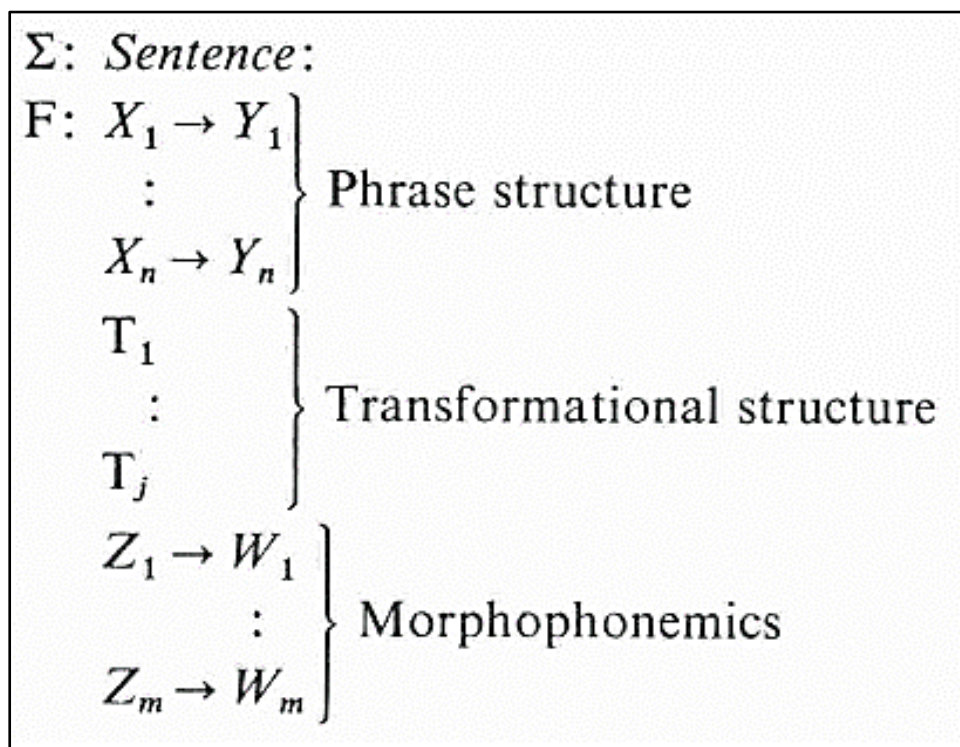
Fonte: Chomsky (1965, p. 65). A representação visual de uma corda de palavras em forma de um diagrama de árvore permite representar informações de diferentes categorias. Na imagem é possível identificar “[...] um vocabulário de símbolos que inclui tanto *formativos* (*o*, *menino*, etc.) [*the*, *boy*, etc.] quanto *categoria de símbolos* (S, NP, V, etc.). Os formativos, além disso, podem ser subdivididos em itens *lexicais* (*sinceridade*, *menino*) [*sincerity*, *boy*] e itens *gramaticais* (*Perfeito*, *Possessivo*, etc.; exceto possivelmente para *o* [*the*], nenhum desses está representado no exemplo simplificado)”³⁶⁶ (Ibidem, 1965, p. 65, itálico e parênteses do autor).

De modo geral, uma máquina de sentenças pode gerar um número ilimitado de cadeias de palavras a partir de uma quantidade limitada de informações linguísticas que são mediadas por uma estrutura transformacional. Portanto, a gramática transformacional processa os elementos constituintes da sentença, isto é, a sequência de palavras que a compõe (Σ : Sentence), que são definidas por um conjunto finito de “fórmulas de instrução” (F), como uma sequência de regras da forma $(X_1 \rightarrow Y_1) : (X_n \rightarrow Y_n)$ que vão percorrer sequências de transformações $(T_1 : T_j)$ que podem adicionar ou excluir morfemas em um processo de rearranjo dos períodos que vão constituir uma sequência de

³⁶⁶ Trecho original: “[...] a vocabulary of symbols that includes both *formative* (*o*, *boy*, etc.) and *symbol category* (S, NP, V, etc.). Formatives, moreover, can be subdivided into *lexical* items (*sincerity*, *boy*) and *grammatical* items (*Perfect*, *Possessive*, etc.; except possibly for *the*, none of these are represented in the simplified example)”.

palavras da sentença (Z_1) ou (Z_m), que por meio de regras morfofonêmicas (\rightarrow) vão derivar as sentenças (W_1) ou (W_m) em uma sequência de fonemas. A seguinte imagem ilustra a explicação anterior:

Figura 54 - Arranjo tripartite das gramáticas.



Fonte: Chomsky (2002, p. 46). Vale citar que “Consequentemente, vemos as gramáticas como tendo uma estrutura tripartite. Uma gramática tem uma sequência de regras a partir das quais a estrutura da frase pode ser reconstruída e uma sequência de regras morfofonêmicas que convertem sequências de morfemas em sequências de fonemas. Conectando essas sequências, há uma sequência de regras transformacionais que carregam cadeias com estrutura de frase em novas cadeias às quais as regras morfofonêmicas podem ser aplicadas”³⁶⁷ (Ibidem, 2009, p. 107). Legenda: Somatório (Σ); Fórmulas de Instrução (F); Forma de sequência de regras ($X_1 \rightarrow Y_1$); ou (:); ($X_n \rightarrow Y_n$); Sequências de transformações ($T_1 : T_j$); Sequência de palavras da sentença (Z_1) ou (Z_m); Regras morfofonêmicas (\rightarrow); Derivação (W_1) ou (W_m).

A organização estrutural e funcional da gramática é descrita na obra “Aspectos da teoria da sintaxe”³⁶⁸ (1965), da seguinte forma:

“O componente sintático especifica um conjunto infinito de objetos formais abstratos, cada um dos quais incorporando todas as informações relevantes para uma única interpretação de uma sentença

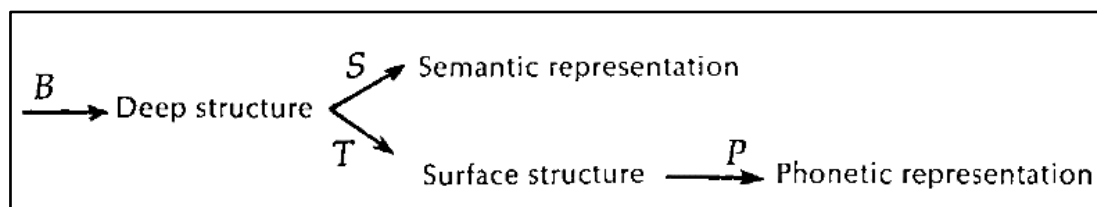
³⁶⁷ Trecho original: “We consequently view grammars as having a tripartite structure. A grammar has a sequence of rules from which frase structure can be reconstructed and a sequence of morphophonemic rules that convert strings of morphemes into strings of phonemes. Connecting these sequences, there is a sequence of transformational rules that carry strings with frase structure into new strings to which the morphophonemic rules can apply”.

³⁶⁸ Título original: “Aspects of the Theory of Syntax”.

em particular. [...] O componente fonológico de uma gramática determina a forma fonética de uma sentença gerada pelas regras sintáticas. Ou seja, relaciona uma estrutura gerada pelo componente sintático a um sinal representado foneticamente. O componente semântico determina a interpretação semântica de uma sentença. Ou seja, relaciona uma estrutura gerada pelo componente sintático a uma determinada representação semântica”³⁶⁹ (Ibidem, 1965, p. 16).

Basicamente os componentes semântico e fonológico não participam da geração recursiva das sentenças, pois a geratividade ocorre na base do componente sintático que precede a estrutura profunda que projeta a interpretação semântica. O componente semântico é mapeado por regras transformacionais (funções e relações gramaticais). O processamento do componente transformacional vai resultar na representação da estrutura de superfície que determina sua interpretação fonética. Segundo Chomsky, “Esta é a ideia básica que tem motivado a teoria da gramática transformacional desde o seu início”³⁷⁰ (Ibidem, 1965, p. 136). Chomsky ilustrou a organização estrutural da gramática gerativo-transformacional na obra “Linguagem e mente”³⁷¹ (1968):

Figura 55 - Estrutura geral da gramática.



Fonte: Chomsky (2006, p. 124). O sistema de base (B) é subdividido no sistema semântico (S) que representa um “dicionário abstrato” organizado pelas regras de base. A representação semântica é mapeada pelas regras do componente transformacional (T) que aparecem na estrutura da superfície como o componente fonológico (P), que resulta em uma representação fonética.

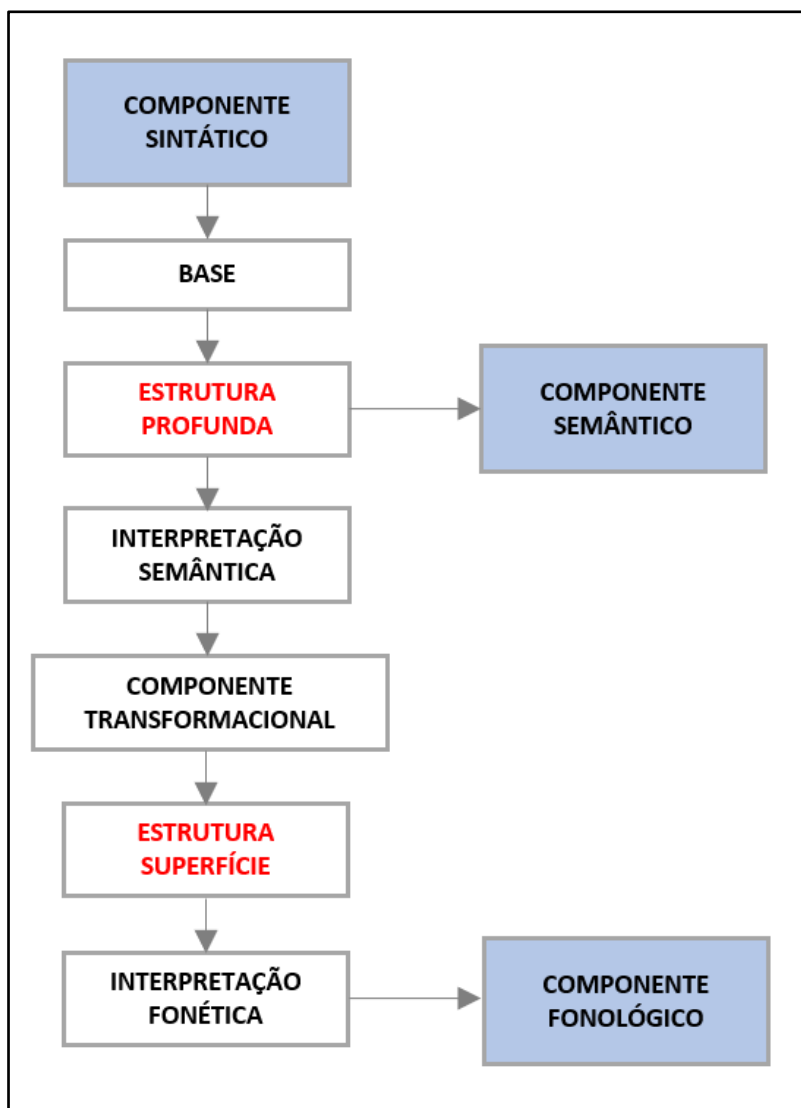
³⁶⁹ Trecho original: “The syntactic component specifies an infinite set of abstract formal objects, each of which incorporates all information relevant to a single interpretation of a particular sentence. [...] The phonological component of a grammar determines the phonetic form of a sentence generated by the syntactic rules. That is, it relates a structure generated by the syntactic component to a phonetically represented signal. The semantic component determines the semantic interpretation of a sentence. That is, it relates a structure generated by the syntactic component to a certain semantic representation”.

³⁷⁰ Trecho original: “This is the basic idea that has motivated the theory of transformational grammar since its inception”.

³⁷¹ Título original: “Language and Mind”.

Elaboramos o seguinte esquema com o intuito de elucidar as hipóteses de Chomsky:

Figura 56 - Organização estrutural da gramática gerativo-transformacional.

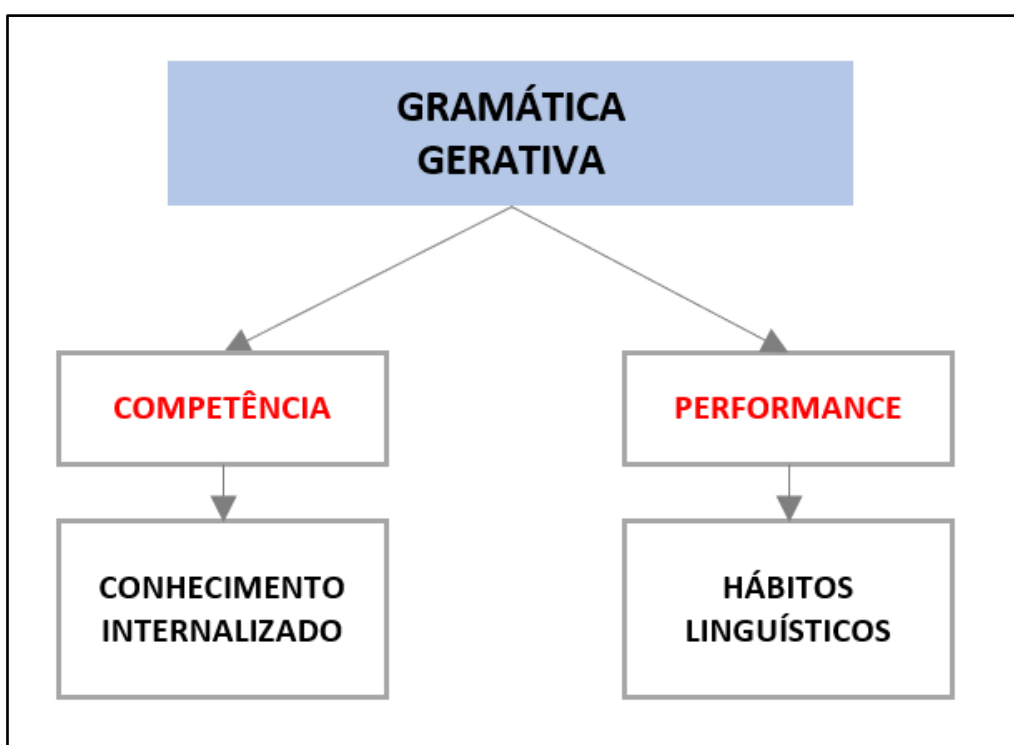


Fonte: Produção do próprio autor. O componente sintático possui uma base (sistema de regras que gera uma sentença). A base está correlacionada a estrutura profunda onde são projetadas as interpretações semânticas por meio dos itens lexicais que ao serem mapeados pelas regras do componente transformacional passam para a estrutura de superfície onde aparecem as interpretações fonéticas. Em suma, “[...] o componente sintático de uma gramática deve especificar, para cada sentença, uma estrutura profunda que determina sua interpretação semântica e uma estrutura de superfície que determina sua interpretação fonética. A primeira delas é interpretada pelo componente semântico; a segunda, pelo componente fonológico”³⁷² (Chomsky, 1965, p. 16).

³⁷² Trecho original: “[...] the syntactic component of a grammar must specify, for each sentence, a deep structure that determines its semantic interpretation and a surface structure that determines its phonetic interpretation. The first of these is interpreted by the semantic component; the second, by the phonological component”.

Vale mencionar que dois conceitos são apresentados para diferenciar o conhecimento do falante sobre sua língua e o desempenho do mesmo. O primeiro corresponde a noção de “competência”, isto é, o conhecimento dominado e internalizado pelo falante de uma língua que reflete em sua “performance”, ou seja, os hábitos linguísticos que podem ser observados pelo *corpus* da fala. É curioso notar que o conceito de intuição linguística utilizado por Chomsky em seus primeiros trabalhos toma o sentido de conhecimento interiorizado da linguagem. Aliás, ambos os conceitos salientam o programa dual da linguística chomskiana que reconhece uma gramática estrita que gera incontáveis frases, orações, sentenças e enunciados utilizando um conjunto limitado de componentes lexicais, ou seja, palavras e morfemas. De modo sucinto, a competência e a performance, quer dizer, a intuição e o comportamento verbal fazem parte do escopo de interesse das investigações do programa que objetiva construir uma teoria geral da estrutura da linguagem. O seguinte esquema ilustra a diferença entre os conceitos:

Figura 57 - Esquema da competência e performance da gramática gerativa.



Fonte: Produção do próprio autor. O programa de pesquisa da gramática gerativo-transformacional investiga duas estruturas da linguagem: a competência representa o conhecimento linguístico internalizado pelo falante e a performance seu repertório verbal, ou seja, os hábitos linguísticos que são observados por meio do *corpus* da fala.

Para aprofundar a compreensão sobre a teoria da gramática gerativo-transformacional vale citar o seguinte trecho:

“Obviamente, todo falante de uma língua dominou e internalizou uma gramática gerativa que expressa seu conhecimento de sua língua. Isso não quer dizer que ele esteja ciente das regras da gramática ou mesmo que possa tomar consciência delas, ou que suas afirmações sobre seu conhecimento intuitivo da língua sejam necessariamente precisas. Qualquer gramática gerativa interessante estará lidando, em sua maior parte, com processos mentais que estão muito além do nível de consciência real ou mesmo potencial; além disso, é bastante evidente que os relatos e pontos de vista de um falante sobre seu comportamento e sua competência podem estar errados. Assim, uma gramática gerativa tenta especificar o que o falante realmente sabe, não o que ele pode relatar sobre seu conhecimento”³⁷³ (Chomsky, 1965, p. 8).

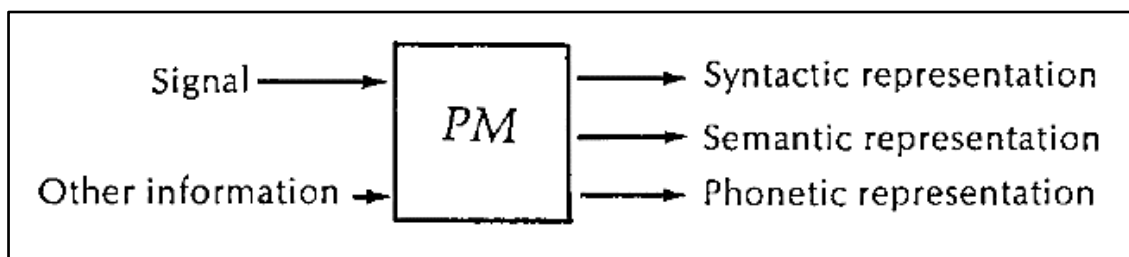
Nesse sentido, podemos inferir que tanto a competência quanto o comportamento verbal dispensam de certo modo o processamento consciente de informações linguísticas percebidas e interiorizadas por um falante. É notório que um falante não precisa parar para pensar em qual palavra deve utilizar para produzir um enunciado ou qual é a ordem correta das palavras para estruturar uma sentença gramaticalmente correta. À primeira vista são processos automáticos da linguagem que ocorrem espontaneamente, ou melhor, intuitivamente. É importante salientar que o senso intuitivo de gramaticalidade que remete ao conhecimento interiorizado pelo falante de uma língua, ou seja, sua competência linguística aparece como sendo operações mentais. Para investigar esses processos ou esse “dispositivo” como Chomsky chama é preciso observar como o *corpus* de informações primárias da linguagem é interiorizado por um falante que passa a gerar novas sentenças. Chomsky menciona que:

³⁷³ Trecho original: “Obviously, every speaker of a language has mastered and internalized a generative grammar that expresses his knowledge of his language. This is not to say that he is aware of the rules of the grammar or even that he can become aware of them, or that his statements about his intuitive knowledge of the language are necessarily accurate. Any interesting generative grammar will be dealing, for the most part, with mental processes that are far beyond the level of actual or even potential consciousness; furthermore, it is quite apparent that a speaker's reports and viewpoints about his behavior and his competence may be in error. Thus a generative grammar attempts to specify what the speaker actually knows, not what he may report about his knowledge”.

“Muita informação pode ser obtida tanto sobre os dados primários que constituem a entrada quanto sobre a gramática que é a “saída” de tal dispositivo, e o teórico tem o problema de determinar as propriedades intrínsecas de um dispositivo capaz de mediar essa relação entrada-saída”³⁷⁴ (Ibidem, 1965, p. 47, aspas do autor).

A seguinte figura complementa a citação anterior:

Figura 58 - Mediação dos sinais de entrada e saída pelo dispositivo da linguagem.



Fonte: Chomsky (2006, p. 103). Um falante percebe um sinal linguístico ou outras informações que são interiorizadas por um modelo perceptivo (PM) que gera uma saída com representações gramaticais nos componentes sintático (organização das palavras em uma sentença), semântico (interpretação dos léxicos em uma *string* de palavras), e uma representação fonética (regras de articulação dos sons da fala). O modelo perceptivo, ou seja, o dispositivo da linguagem processa as informações linguísticas de entrada e saída automaticamente.

Em princípio, para elaborar uma teoria geral sobre a estrutura da linguagem, ou seja, sobre a gramática gerativo-transformacional é preciso investigar como as informações linguísticas primárias perpassam por um dispositivo generativo que permite ao falante produzir intuitivamente uma quantidade de sentenças que excede o conhecimento linguístico aprendido. Sendo assim:

“[...] a principal tarefa da teoria linguística deve ser desenvolver uma explicação dos universais linguísticos que, por um lado, não seja falsificada pela diversidade real das línguas e, por outro, seja suficientemente rica e explícita para dar conta da rapidez e uniformidade do aprendizado de línguas, e a notável complexidade e alcance das gramáticas gerativas que são o produto do aprendizado de línguas”³⁷⁵ (Ibidem, 1965, p. 27 – 28).

³⁷⁴ Trecho original: “Much information can be obtained about both the primary data that constitute the input and the grammar that is the “output” of such a device, and the theorist has the problem of determining the intrinsic properties of a device capable of mediating this input-output relation”.

³⁷⁵ Trecho original: “[...] the main task of linguistic theory must be to develop an account of linguistic universals that, on the one hand, will not be falsified by the actual diversity of languages and, on the other, will be sufficiently rich and explicit to account for the rapidity and uniformity of

Em outras palavras, os universais linguísticos aludem às regras de base do dispositivo gerativo-transformacional da gramática que permitem ao falante de uma língua aprender sua competência e conseqüentemente desenvolver sua performance, ou seja, adquirir e ampliar seu conhecimento intuitivo da linguagem que transparece em seu comportamento verbal. Afinal:

“A criança que adquire uma língua [...] sabe muito mais do que “aprendeu”. Seu conhecimento da língua, determinado por sua gramática internalizada vai muito além dos dados linguísticos primários apresentados e não é de forma alguma uma “generalização indutiva” desses dados” (Ibidem, 1965, p. 32 -33, aspas do autor).

Ao observar que uma criança consegue formar e produzir uma quantidade de sentenças que excede o conhecimento linguístico aprendido, Chomsky reforça a hipótese de que o dispositivo da linguagem gera por meio de um conjunto finito de informações primárias uma gama incontável de dados linguísticos. Ou seja, a criança consegue produzir frases, orações, sentenças ou enunciados nunca antes aprendidos ou sequer ouvidos. Chomsky sugere que a diferença entre a pobreza de informações linguísticas aprendidas e a riqueza de conteúdos gerados pela criança remete ao problema:

“[...] de “pobreza de estímulo” no estudo da linguagem, embora o termo seja enganoso porque este é apenas um caso especial de questões básicas que surgem universalmente para o crescimento orgânico, incluindo o crescimento cognitivo, uma variante de problemas reconhecidos já no passado desde Platão”³⁷⁶ (Chomsky, 2006, p. 182, aspas do autor).

Na introdução do livro “Linguística cartesiana: Um capítulo na história do pensamento racionalista” (Chomsky, 2009), o problema da pobreza do estímulo no processo de aquisição da linguagem é sumarizado pelo filósofo James McGilvray da seguinte forma:

“[...] os fatos da “pobreza do estímulo” – concentra-se na lacuna entre o que as mentes obtêm quando adquirem uma capacidade cognitiva

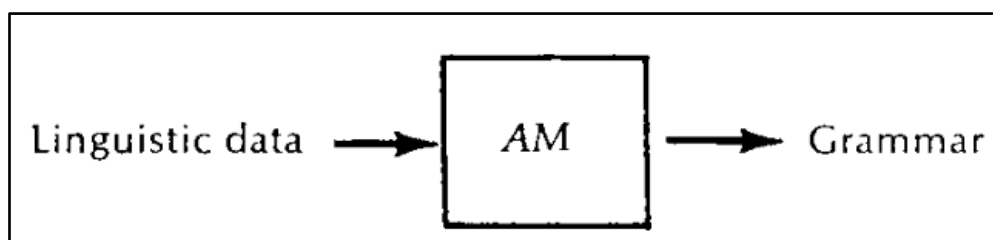
language learning, and the remarkable complexity and range of the generative grammars that are the product of language learning”.

³⁷⁶ Trecho original: “[...] “poverty of stimulus” problems in the study of language, though the term is misleading because this is just a special case of basic issues that arise universally for organic growth, including cognitive growth, a variant of problems recognized as far back as Plato”.

rica e estruturada, como visão ou linguagem, e a pequena e 'empobrecida' entrada que a mente recebe à medida que desenvolve a capacidade [da linguagem]"³⁷⁷ (Chomsky, 2009, p. 2, aspas do autor).

Como mencionado anteriormente a gramática internalizada viabiliza gerar um número incontável de sentenças a partir de uma quantidade limitada de conhecimento linguístico que reflete o uso criativo da linguagem que permite criar e comunicar pensamentos linguísticos nunca antes ouvidos ou aprendidos. Em vista disso, o estudo da criatividade linguística segundo McGilvray é embasada "[...] nas observações do "aspecto criativo do uso da linguagem" – concentra-se no fato de que as pessoas, mesmo crianças pequenas, usam a linguagem de maneiras não causadas e inovadoras, embora ainda apropriadas"³⁷⁸ (Ibidem, 2009, p. 2, aspas do autor). Em suma, a criatividade do uso da linguagem reflete a capacidade funcional do dispositivo gerativo-transformacional de produzir uma riqueza ilimitada de elementos linguísticos mesmo tendo como fonte uma pobreza de estímulos. A seguinte imagem ilustra o dispositivo de aquisição da linguagem:

Figura 59- Modelo de aquisição da linguagem.



Fonte: Chomsky (2006, p. 106). Dados linguísticos são interiorizadas em um dispositivo de aquisição da linguagem que determina a saída gramatical aprendida. Nas palavras de Chomsky "O modo como o dispositivo AM [modelo de aquisição] seleciona uma gramática será determinado por sua estrutura interna, pelos métodos de análise disponíveis a ele e pelas restrições iniciais que ele impõe a qualquer gramática possível. Se recebermos informações sobre o emparelhamento de dados linguísticos e gramáticas, podemos tentar determinar a natureza do dispositivo AM"³⁷⁹ (Ibidem, 2006, p. 106).

³⁷⁷ Trecho original: "[...] the "poverty of the stimulus" facts – focuses on the gap between what minds obtain when they acquire a rich and structured cognitive capacity such as vision or language and the small and 'impoverished' input that the mind receives as it develops the capacity".

³⁷⁸ Trecho original: "[...] the "creative aspect of language use" observations – focuses on the fact that people, even small children, use language in ways that are uncaused and innovative, while still appropriate".

³⁷⁹ Trecho original: "Just how the device AM selects a grammar will be determined by its internal structure, by the methods of analysis available to it, and by the initial constraints that it imposes

É importante esclarecer que a aquisição da linguagem e consequentemente seu desenvolvimento advém de um dispositivo inato que Chomsky chama de gramática universal (GU). Ao ser questionado qual a diferença entre um dispositivo de aquisição da linguagem e a GU, Chomsky responde que:

“Nenhum. São apenas duas maneiras diferentes de ver a mesma coisa. Gramática Universal é o nome da teoria do estado inicial da faculdade da linguagem. LAD [dispositivo de aquisição da linguagem] é outro nome para o estado inicial, apenas olhando de um ponto de vista diferente. Então não há diferença. [...] Em geral, o “dispositivo de aquisição da linguagem” é o que faz a mediação entre o estado inicial da faculdade da linguagem e os estados que ela pode atingir, o que é outra maneira de dizer que é uma descrição do estado inicial”³⁸⁰ (Chomsky, 2000a, p. 54 – 55, aspas do autor).

Nesse sentido, dados linguísticos primários são internalizados pelo dispositivo inato da GU que pré-dispõe os parâmetros ou universais linguísticos das regras de base do dispositivo gerativo-transformacional da gramática que permite ao falante adquirir sua competência e consequentemente desenvolver sua performance conforme a faculdade da linguagem (FL) cresce e se desenvolve. Segundo Chomsky:

“Supondo que a faculdade da linguagem tenha as propriedades gerais de outros sistemas biológicos, devemos, portanto, buscar três fatores que entram no crescimento da linguagem no indivíduo: (1) Fatores genéticos, aparentemente quase uniformes para a espécie, o tópico da GU. A dotação genética interpreta parte do ambiente como experiência linguística, tarefa não trivial que a criança realiza reflexivamente, e determina o curso geral do desenvolvimento da faculdade linguística até as línguas alcançadas. (2) Experiência, que leva à variação, dentro de uma faixa bastante estreita como no caso de outros subsistemas da capacidade humana e do organismo em geral [Chomsky se refere ao

on any possible grammar. If we are given information about the pairing of linguistic data and grammars, we may try to determine the nature of the device AM”.

³⁸⁰ Trecho original: “None. They are just two different ways of looking at the same thing. Universal Grammar is the name for the theory of the initial state of the language faculty. LAD is another name for the initial state, just looking at it from a different point of view. So there’s no difference. [...] In general, the “language acquisition device” is whatever mediates between the initial state of the language faculty and the states that it can attain, which is another way of saying it is a description of the initial state”.

período crítico de aquisição da linguagem]. (3) Princípios não específicos da faculdade da linguagem. O terceiro fator inclui princípios de arquitetura estrutural que restringem resultados [Chomsky alude a organização estrutural e funcional do cérebro como um todo], incluindo princípios de computação eficiente, que seriam de particular importância para sistemas computacionais como a linguagem, determinando o caráter geral das linguagens alcançáveis”³⁸¹ (Chomsky, 2006, p. 180).

Basicamente, o estado inicial da FL alude ao dispositivo de aquisição da linguagem também chamado de GU. O termo dispositivo da linguagem também é compreendido como “[...] um órgão da linguagem”³⁸² (Chomsky, 2000a, p. 18). Portanto:

“A faculdade da linguagem pode ser razoavelmente considerada como um “órgão da linguagem” no sentido em que os cientistas falam do sistema visual, ou sistema imunológico, ou sistema circulatório, como órgãos do corpo. Entendido dessa forma, um órgão não é algo que pode ser removido do corpo, deixando o resto intacto. É um subsistema de uma estrutura mais complexa. Esperamos compreender toda a complexidade investigando partes que possuem características distintas e suas interações. O estudo da faculdade da linguagem procede da mesma maneira. Assumimos ainda que o órgão da linguagem é como os outros, pois seu caráter básico é uma expressão dos genes. Como isso acontece permanece uma perspectiva distante para investigação, mas podemos investigar o “estado inicial” geneticamente determinado da faculdade da linguagem de outras maneiras. Evidentemente, cada linguagem é o resultado da interação de dois fatores: o estado inicial e o curso da experiência. Podemos pensar no estado inicial como um “dispositivo de aquisição de linguagem” que toma a experiência como “entrada” e dá a linguagem

³⁸¹ Trecho original: “Assuming that the faculty of language has the general properties of other biological systems, we should, therefore, be seeking three factors that enter into the growth of language in the individual: (1) Genetic factors, apparently near uniform for the species, the topic of UG. The genetic endowment interprets part of the environment as linguistic experience, a nontrivial task that the infant carries out reflexively, and determines the general course of the development of the language faculty to the languages attained. (2) Experience, which leads to variation, within a fairly narrow range, as in the case of other subsystems of the human capacity and the organism generally. (3) Principles not specific to the faculty of language. The third factor includes principles of structural architecture that restrict outcomes, including principles of efficient computation, which would be expected to be of particular significance for computational systems such as language, determining the general character of attainable languages”.

³⁸² Trecho original: “[...] language organ”.

como uma “saída” – uma “saída” que é representada internamente na mente/cérebro³⁸³ (Chomsky, 2000b. p. 4, aspas do autor).

Vale mencionar que a palavra órgão aparece da seguinte forma em diferentes trabalhos de Chomsky: órgão do cérebro, órgão mental, órgão cognitivo, e órgão da linguagem. Basicamente, podemos inferir que um órgão é um sistema complexo com propriedades estruturais e funcionais que perpassam pelo vértice mental/cognitivo, bem como possui seu concomitante representado no nível neurobiológico. Colocando em outras palavras, o cérebro e a mente possuem sua própria forma de organização estrutural e funcional, porém são sistemas que se correlacionam. Chomsky considera a mente como “[...] o cérebro visto em um certo nível de abstração” (Chomsky, 2009, p. 3, informação pessoal³⁸⁴). Ou seja, existe a esfera material do cérebro onde ocorrem os processos neurobiológicos da linguagem, portanto há células neurais envolvidas no dispositivo da linguagem, assim como existe a representação interna do mentalês, ou seja, a “*Lingua Mentis*”³⁸⁵ (Chomsky, 1998, p. 43). A propósito do termo “representação interna” Chomsky elabora a seguinte resposta para o filósofo americano Georges Rey no livro “Chomsky e seus críticos”³⁸⁶ (2003).

[...] Temos, então, vários usos distintos da noção informal de “representar”. Em certo sentido, diz-se que os mecanismos

³⁸³ Trecho original: “The faculty of language can reasonably be regarded as a “language organ” in the sense in which scientists speak of the visual system, or immune system, or circulatory system, as organs of the body. Understood in this way, an organ is not something that can be removed from the body, leaving the rest intact. It is a subsystem of a more complex structure. We hope to understand the full complexity by investigating parts that have distinctive characteristics, and their interactions. Study of the faculty of language proceeds in the same way. We assume further that the language organ is like others in that its basic character is an expression of the genes. How that happens remains a distant prospect for inquiry, but we can investigate the genetically determined “initial state” of the language faculty in other ways. Evidently, each language is the result of the interplay of two factors: the initial state and the course of experience. We can think of the initial state as a “language acquisition device” that takes experience as “input” and gives the language as an “output” – an “output” that is internally represented in the mind/brain”.

³⁸⁴ Trecho original: “[...] the brain viewed at a certain level of abstraction”. Chomsky, 2019. What is Language. Destinatário: Caetano, A., F., R. [São Paulo], 02 de dez. 2019. Material disponível na plataforma virtual da Universidade do Arizona exclusivamente para os alunos do curso “Language, Mind, and Brain”, realizado em 2019.

³⁸⁵ *Lingua Mentis* é um termo latino que significa linguagem da mente. No livro “Epistemologia da Linguagem” (2003) os professores de filosofia Reinaldo Elugardo e Robert Stainton sugerem que “[...] o mentales é uma linguagem de pensamento, com sintaxe e semântica composicional – mas sem fonologia” (Barber, 2003, p. 282). Trecho original: “[...] Mentalese is a language of thought, with compositional syntax and semantics - but no phonology”. Título original: “Epistemology of Language”.

³⁸⁶ Título original: “Chomsky and his Critics”.

psicológicos e fisiológicos estão “representados internamente” e, com vistas à unificação, diz-se que os mecanismos psicológicos estão “representados no cérebro” (embora ninguém saiba como, mesmo para casos elementares)”³⁸⁷ (Antony e Hornstein, 2003, p. 276, aspas e parênteses do autor).

Aliás, em uma palestra ministrada por Chomsky em 1996 na Universidade de Brasília, o linguista profere que:

“A mente/cérebro do homem é talvez o mais complexo objeto no universo, e mal começamos a compreender os modos como se constitui e funciona. Dentro dela, a linguagem parece ocupar um lugar central, e, pelo menos na superfície, a variedade e a complexidade são desencorajadoras”³⁸⁸ (Ibidem, 1998, p. 40).

A propósito, ao considerar a linguagem um sistema biológico complexo “[...] não se espera necessariamente encontrar um “local””³⁸⁹ para o mesmo (Chomsky, 2000a, p. 54, aspas do autor). Vale lembrar que os substratos neurais da linguagem podem ser identificados e localizados por meio de exames de neuroimagem, porém como essas informações são computadas e representadas no órgão mental permanecem desconhecidas. É oportuno acrescentar a seguinte colocação de Chomsky direcionada para o filósofo Rey:

“Os componentes elementares dos postulados sistemas internos da FL são chamados de “características”; os sistemas são freqüentemente chamados de “representações (internas)”, aproximadamente no sentido em que o sistema computacional envolvido na navegação de insetos ou no canto dos pássaros é dito ser “representado internamente”, tudo no nível psicológico; esse parece ser o sentido que Rey tem em mente quando fala de “representações específicas” que possuem “conteúdos”. A busca pela unificação [da psicologia com a neurociência] é guiada pela expectativa de que correspondendo de alguma forma a tais entidades psicológicas existam configurações

³⁸⁷ Trecho original: “We have, then, several distinct uses of the informal notion “represent.” In one sense, the psychological and physiological mechanisms are said to be “internally represented,” and with an eye towards unification, the psychological mechanisms are said to be “represented in the brain” (though how no one knows, even for elementary cases)”.

³⁸⁸ Texto original redigido em português.

³⁸⁹ Trecho original: “[...] one does not necessarily expect to find a “location””.

fisiológicas, também ditas internamente representadas³⁹⁰ (Antony e Hornstein, 2003, p. 276, aspas e parênteses do autor).

De modo geral, podemos compreender que a FL é um órgão mente/cérebro, pois se um falante tiver um braço ou qualquer outro membro amputado não vai ter problemas funcionais com a linguagem, a não ser que envolva a destruição ou a obstrução de estruturas neurobiológicas que computam as representações mentais da linguagem. Aliás, é importante citar que o termo órgão da linguagem também aparece como módulo da linguagem. No livro “Abordagens modulares para o estudo da mente”³⁹¹ (1984), Chomsky faz a seguinte colocação:

“Todo sistema biológico complexo que conhecemos é altamente modular em sua estrutura interna. Não deveria ser uma surpresa terrível descobrir que a mente humana é exatamente como outros sistemas biológicos complexos: que é composta de subsistemas que interagem com suas propriedades e características específicas e com modos específicos de interação entre as várias partes. Devo dizer que quando olhamos para um determinado sistema, digamos a linguagem, também encontramos modularidade interna. Ou seja, encontramos subsistemas com suas próprias propriedades bastante específicas interagindo de maneiras altamente determinadas”³⁹² (Chomsky, 1984, p. 16 -17).

Como observado nas citações anteriores Chomsky utiliza em seus trabalhos o termo módulo da linguagem, assim como sistema computacional da linguagem ou computação linguística. Esses conceitos foram examinados por Jerry Fodor em sua tese modular da mente (1983), da qual descrevemos e

³⁹⁰ Trecho original: “The elementary components of the postulated internal systems of FL are called “features”; the systems are often called “(internal) representations,” in approximately the sense in which the computational system involved in insect navigation or bird song is said to be “internally represented,” all at the psychological level; this seems to be the sense Rey has in mind when he speaks of “specific representations” that have “contents.” The search for unification [of psychology with neuroscience] is guided by the expectation that corresponding in some manner to such psychological entities there are physiological configurations, also said to be internally represented”.

³⁹¹ Título original: “Modular Approaches to the Study of the Mind”.

³⁹² Trecho original: “Every complex biological system we know is highly modular in its internal structure. It should not be a terrible surprise to discover that the human mind is just like other complex biological systems: that it is composed of interacting sub-systems with their specific properties and character and with specific modes of interaction among the various parts. I should say that when we look at a particular system, say language, we also find internal modularity. That is, we find sub-systems with their own quite specific properties interacting in highly determined ways”.

analisamos no subcapítulo (3.5). É importante mencionar que Chomsky consultou e ainda recorre ao arcabouço epistemológico da teoria da computação cognitiva em seu programa de pesquisa. Por isso, é comum encontrar termos que não pertencem tradicionalmente ao campo da linguística. Basicamente, os sistemas modulares são mecanismos biológicos inatos que pré-dispõem um conjunto de instruções ou regras computacionais que determinam sua organização estrutural e funcional. Ou seja, são sistemas determinados geneticamente para executar uma função específica como a aquisição e o processamento da linguagem. Portanto, possuem uma computação informacional de alta velocidade. Talvez seja esse o motivo pelo qual as informações linguísticas são percebidas e produzidas quase que instantaneamente. Como mencionado anteriormente um falante não precisa escolher conscientemente qual palavra utilizar para produzir um enunciado ou qual é a ordem gramatical correta das palavras para elaborar uma sentença. No livro “Linguagem em nosso cérebro: As origens de uma capacidade exclusivamente humana”³⁹³ (2017), escrito pela psicóloga e pesquisadora em neurociência cognitiva Angela Friederici (1952 -)³⁹⁴, com prefácio redigido por Chomsky, encontramos a seguinte citação que salienta a ideia anterior:

“A linguagem é parte integrante de nossa vida diária. Usamos sem esforço e, ao fazê-lo, geralmente pensamos no que queremos dizer, em vez de como dizê-lo de maneira gramaticalmente correta. Assim, usamos a linguagem de forma bastante automática”³⁹⁵ (Friederici, 2017, p. 221).

Nesse sentido, o falante não tem acesso a computação realizada no interior do módulo linguístico, isto é, não tem consciência sobre os mecanismos neurobiológicos que subjazem a percepção e a produção da linguagem. Vale destacar que os módulos comportam submódulos ou intermódulos que constituem a arquitetura dos sistemas modulares da linguagem no nível neurobiológico (órgão cerebral da linguagem). A esfera cognitiva (órgão mental da linguagem), é composta por sistemas amodulares, ou seja, suas estruturas

³⁹³ Título original: “Language in our brain: The origins of a uniquely human capacity”.

³⁹⁴ Angela Friederici, nascida em 1952, viva.

³⁹⁵ Trecho original: “Language is an integral part of our daily life. We use it effortlessly, and when doing so, we usually think about what we want to say rather than how to say it in a grammatically correct way. Thus, we use language quite automatically”.

não são localizáveis, assim como suas formas de funcionamento não são restritas a um conjunto de informações linguísticas computadas neurobiologicamente, pois um sistema amodular não depende exclusivamente das entradas de *inputs* sensoriais para funcionar. Nesse caso, basta lembrar do problema da pobreza de estímulos na aquisição da linguagem, ou seja, a criança consegue gerar e produzir mais informações linguísticas do que aprendeu ou percebeu em um ambiente.

Para esclarecer neurocientificamente o conceito da palavra órgão, Chomsky cita em seu trabalho “Linguística e ciência do cérebro”³⁹⁶ (2000c), o trecho de uma conversa com o psicólogo Randy Gallistel ³⁹⁷ que foi publicada no livro “Conversas em Neurociências Cognitivas” (1997):

“Acho que Chomsky estava certo ao argumentar que existe um módulo para aprender línguas. Na verdade, acho que ele estava certo em chamá-lo de órgão, porque acho que a analogia com a especialização de estrutura e função que vemos em órgãos é uma maneira apropriada de pensar sobre a especialização de estrutura e função que vemos nos vários órgãos de aprendizado. O órgão da linguagem é apenas um exemplo entre muitos. Esses órgãos dentro do cérebro são circuitos neurais cuja estrutura lhes permite realizar um tipo específico de computação. Essa visão é a norma hoje em dia na Neurociência”³⁹⁸ (Gazzaniga, 1997, p. 86).

Entretanto, Gallistel menciona que:

“Claramente não entendemos como o sistema nervoso computa. Não sabemos quais são os fundamentos de sua capacidade de calcular. Não entendemos como isso funciona o pequeno conjunto de operações aritméticas e lógicas que são fundamentais para qualquer computação, as operações que são parte do conjunto básico de instruções em qualquer computador já desenvolvido, incluindo computadores massivamente paralelos e computadores de rede

³⁹⁶ Título original: “Linguistics and brain science”.

³⁹⁷ Randy Gallistel, nascido em 1941.

³⁹⁸ Trecho original: “I think Chomsky was right to argue that there is a module for learning language. In fact, I think he was right to call it an organ, because I think the analogy to the specialization of structure and function that we see in organs is an appropriate way to think about the specialization of structure and function that we see in the various learning organs. The language organ is just one example among many. These organs within the brain are neural circuits whose structure enables them to perform one particular kind of computation. This view is the norm these days in Neuroscience”.

neural. Não entendemos, por exemplo, como os neurônios multiplicam, somam e comparam os valores das variáveis [dados de *input-output*]³⁹⁹ (Ibidem, 1997, p. 79).

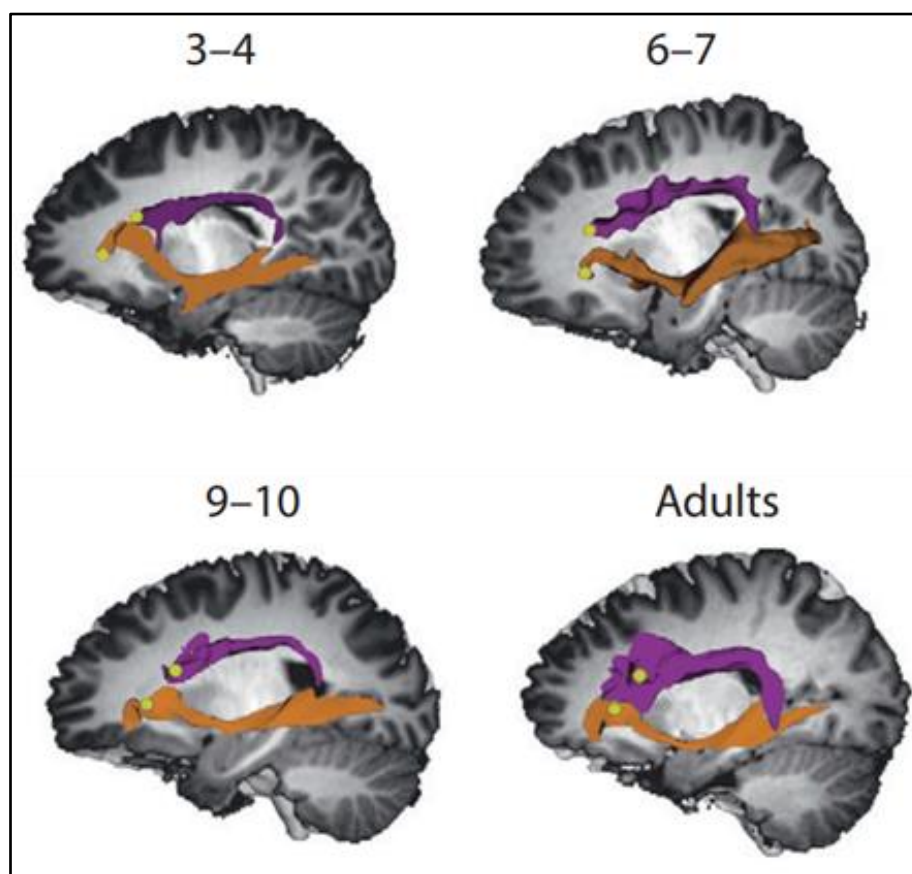
Portanto, mesmo que a linguagem seja um sistema computacional composto por módulos, submódulos ou intermódulos na interface cérebro-mente sua organização estrutural e funcional permanecem em grande parte desconhecidas. Apesar disso, as pesquisas sobre a aquisição e a aprendizagem da linguagem reconhecem que o crescimento e a maturação do módulo linguístico refletem os estágios de aquisição e desenvolvimento da linguagem, ou seja, o período crítico e sensível como alude Chomsky ao mencionar uma faixa bastante estreita para a aquisição da linguagem em crianças.

“Períodos críticos podem ser claramente observados em vários sistemas sensoriais perceptivos, e durante esses períodos um sistema é aberto e mais responsivo à entrada do ambiente. Pensa-se que o sistema e sua base neurobiológica são dependentes da maturação dos circuitos neurais responsáveis pelo domínio perceptivo ou cognitivo particular (Werker e Hensch, 2015). O termo período crítico refere-se a uma janela de tempo rigorosa durante a qual a entrada é essencial para o desenvolvimento funcional normal (Wiesel, 1982), enquanto o termo período sensível refere-se a uma janela de tempo relativamente limitada durante a qual a entrada é mais eficaz – como demonstrado para funções cognitivas como a linguagem (Neville e Bavelier, 1998). Há evidências preliminares de que esses períodos críticos ou sensíveis estão associados a mudanças funcionais e estruturais no cérebro e no nível da rede de regiões cerebrais conectadas. Até que ponto a maturação biológica direta do cérebro e a experiência ambiental são mutuamente dependentes durante o desenvolvimento cognitivo de uma criança pode ser particularmente bem ilustrado pelo exemplo da linguagem”⁴⁰⁰ (Friederici, 2017, p. 155).

³⁹⁹ Trecho original: “We clearly do not understand how the nervous system computes. We do not know what are the foundations of its ability to compute. We do not understand how it carries out the small set of arithmetic and logical operations that are fundamental to any computation, the operations that are part of the basic instruction set in any computer ever developed, including massively parallel computers and neural net computers. We do not, for example, understand how neurons multiply, add, and compare the values of variables”.

⁴⁰⁰ Trecho original: “Critical periods can clearly be observed in various perceptual sensory systems, and during these periods a system is open and most responsive to the input of the environment. It is thought that the system and its neurobiological basis are dependent on the maturation of the neural circuits responsible for the particular perceptual or cognitive domain (Werker and Hensch, 2015). The term critical period refers to a strict time window during which

Figura 60 - Maturação do trato de fibras dorsal e ventral no cérebro da criança ao adulto.



Fonte: Adaptado de Friederici (2017, p. 195). A imagem produzida a partir da técnica da tractografia de modelagem 3D ilustra em roxo a via dorsal do fascículo arqueado (feixe de axônios) que medeia a conexão entre o giro frontal inferior esquerdo na região de Broca (BA 44 - 45), com o córtex temporal caudal e parietal inferior na região de Wernicke. A via ventral na cor laranja estabelece o contato entre a região de Broca e o fascículo fronto-occipital inferior no lado esquerdo. É possível observar o crescimento volumétrico das fibras dorsal e ventral segundo as idades apontadas sobre cada imagem.

Vale citar que um dos primeiros modelos maturacionais de aquisição da linguagem é atribuído ao linguista e neurocientista alemão Eric Lenneberg (1921 – 1975)⁴⁰¹, que redigiu em sua obra “Fundamentos Biológicos da Linguagem”⁴⁰² (1967), que:

input is essential for normal functional development (Wiesel, 1982), whereas the term sensitive period refers to a relatively limited time window during which input is most effective—as demonstrated for cognitive functions such as language (Neville and Bavelier, 1998). There is preliminary evidence that such critical or sensitive periods are associated with functional and structural changes in the brain, and at the network level of connected brain regions. To what extent direct biological brain maturation and environmental experience are mutually dependent during a child’s cognitive development can be particularly well illustrated by the example of language”.

⁴⁰¹ Eric Lenneberg, nascido em 1921, falecido em 1975.

⁴⁰² Título original: “Biological Foundations of Language”.

“Muito claramente, as diferenças mais importantes entre as fases de desenvolvimento pré-linguagem e pós-linguagem se originam no indivíduo em crescimento e não no mundo externo ou em mudanças na disponibilidade de estímulos”⁴⁰³ (Lenneberg, 1967, p. 125).

Lenneberg menciona a história de duas crianças (Kamala e Amala) supostamente criadas por lobos para exemplificar que a aquisição da linguagem não decorre totalmente de fatores externos⁴⁰⁴ (Singh e Zingg, 1942). De acordo com Lenneberg:

“O desenvolvimento da linguagem é bastante independente das habilidades articulatórias (Lenneberg, 1962); e a perfeição da articulação não pode ser ditada simplesmente com base no desenvolvimento motor geral. Há certas indicações para a existência de um cronograma de maturação peculiar, específico da linguagem”⁴⁰⁵ (Ibidem, 1967, p. 127 – 131).

Nesse sentido a concepção de linguagem como instrumento do pensamento parece mais pertinente do que a noção de linguagem como ferramenta de comunicação. Dizendo de outro modo, não é necessário articular as palavras por meio da fala para comprovar alguma habilidade linguística, tendo em vista que o pensamento linguístico pode ser produzido sem ao menos pronunciar uma única palavra. Em suma, apesar do período crítico para aquisição da linguagem ser restringido por fatores neurobiológicos como a janela de tempo da plasticidade cerebral da linguagem, “[...] os mecanismos biológicos subjacentes aos períodos sensíveis permanecem um mistério. No momento, só podemos descrever esses períodos no nível macro”⁴⁰⁶ (Friederici, 2017, p. 145).

⁴⁰³ Trecho original: “Quite clearly the most important differences between the prelanguage and postlanguage phases of development originate in the growing individual and not in the external world or in changes in the availability of stimuli”.

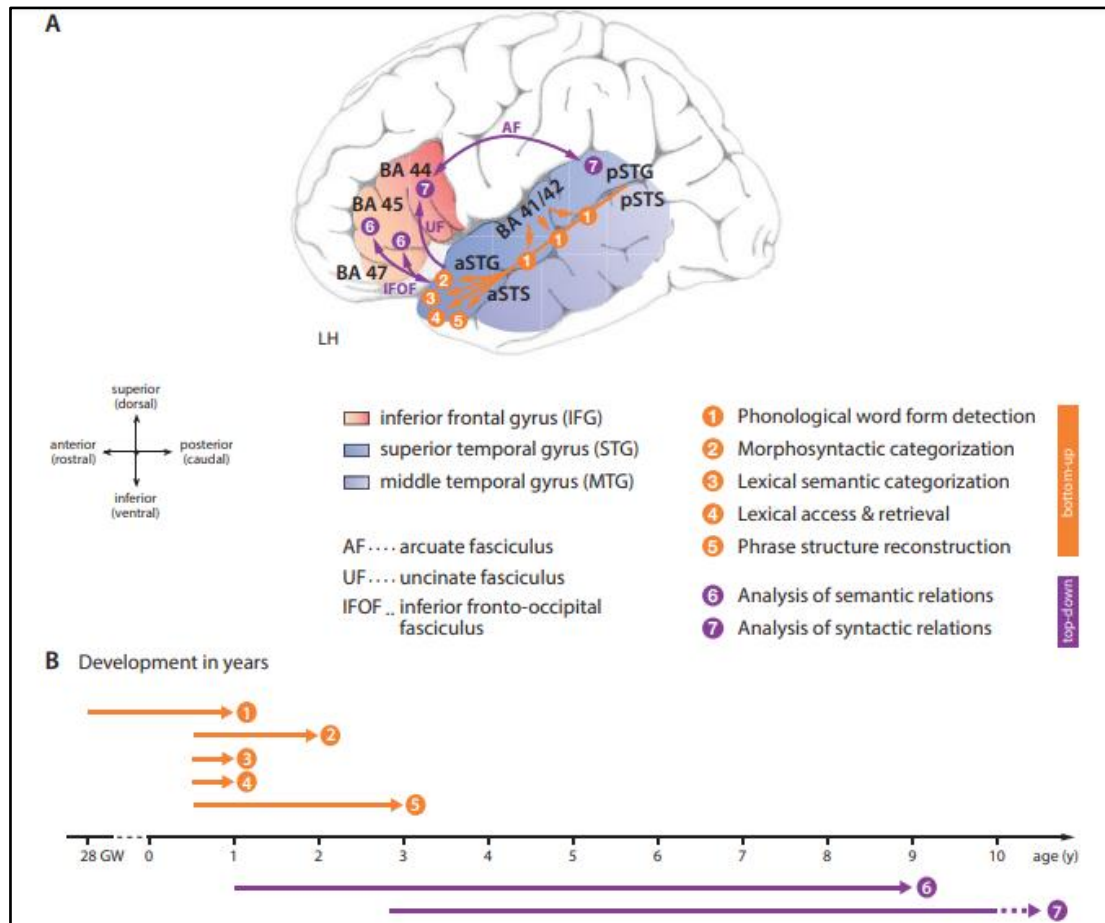
⁴⁰⁴ Para conhecer mais sobre a aquisição da linguagem em crianças abandonadas sugerimos a obra “Genie: um estudo psicolinguístico de uma criança selvagem moderna (Curtiss, 1977). Título original: “Genie: A Psycholinguistic Study of a Modern-Day Wild Child”.

⁴⁰⁵ Trecho original: “The development of language is quite independent of articulatory skills (Lenneberg, 1962); and the perfection of articulation cannot be dictated simply on the basis of general motor development. There are certain indications for the existence of a peculiar, language-specific maturation schedule”.

⁴⁰⁶ Trecho original: “[...] the biological mechanisms underlying sensitive periods remain a mystery. At present we can only describe these periods at the macrolevel”.

A seguinte imagem ilustra as vias neurais envolvidas com a aquisição e o desenvolvimento da linguagem amparadas na linha do tempo de maturação.

Figura 61 - Desenvolvimento dos circuitos neurais da linguagem.



Fonte: Friederici (2017, p. 198). A imagem (A), ilustra a configuração espacial das redes neurais recrutadas para computar os processos de (1-7) no hemisfério esquerdo do córtex cerebral adulto. As setas indicam o suposto fluxo de informações linguísticas ao longo das fibras brancas interconectadas. Os circuitos neurais em laranja processam: (1) Palavra fonológica de detecção. (2) Categorização morfossintática. (3) Categorização semântica lexical. (4) Acesso e recuperação lexical. (5) Reconstrução da estrutura da frase. As redes de (1-5) representam os estágios de desenvolvimento de baixo para cima (*bottom up*) da conectividade neural que compõe a via ventral em laranja. Os processos: (6) Análise da relação semântica e (7) Análise das relações sintáticas emergem gradualmente de cima para baixo (*top-down*) em períodos avançados da aquisição da linguagem conforme o crescimento da via dorsal ilustrada em roxo. A imagem (B), mostra a linha do tempo de aquisição e desenvolvimento da linguagem a partir da 28ª semana gestacional (28 GW), até 10 anos de idade. A seta horizontal (estágio 1) indica que lactantes são capazes de extrair características segmentares básicas (fonológicas) e suprassgmentares (prosódicas) da fala até o primeiro ano de vida. O estágio 2 ilustra que certas redes neurais do córtex cerebral do bebê de seis meses até dois anos de idade são recrutadas para a categorização de informações morfossintática. O estágio 3 mostra que dos seis meses de vida até o primeiro aniversário os itens lexicais são classificados em categorias semânticas que recrutam partes do córtex temporal médio e superior esquerdo (Skeide e Friederici, 2016). O estágio 4 aponta que durante os seis primeiros meses até o primeiro ano de vida a criança consegue acessar e recuperar lexicalmente os elementos de uma frase. O estágio 5 que começa aos seis meses e termina aos três anos de idade infere que a criança é capaz de reconstruir

estruturas frasais com o suporte computacional de regiões temporais anteriores do hemisfério esquerdo. O estágio 6 representado pela seta horizontal roxa mostra que a partir do primeiro ano até o nono aniversário do bebê/criança consegue estabelecer relações de análise semântica sem depender de informações linguísticas pausadas. Por fim, o estágio 7 que inicia aos três anos e se estende para além dos dez ilustra que a criança é capaz de analisar relações sintáticas complexas. Siglas: giro frontal inferior (IFG); giro temporal superior (GST); giro temporal médio (MTG); fascículo arqueado (FA); fascículo uncinado (UF); fascículo fronto-occipital inferior (IFOF).

Recapitulando as ideias podemos inferir que o órgão inato da linguagem alude a um dispositivo gerativo-transformacional que corresponde a GU, ou seja, o estado inicial da FL pré-dispõe os parâmetros ou universais linguísticos das regras de base da gramática que permite ao falante adquirir o conhecimento de uma língua e conseqüentemente desenvolver sua performance conforme a FL cresce e floresce. Portanto, o módulo da linguagem é geneticamente especializado na computação de “[...] um 'conjunto de instruções' complexo e rico - a 'informação' necessária, com um mínimo de entrada, para produzir qualquer linguagem natural”⁴⁰⁷ (Chomsky, 2009, p. 24 – 25, aspas do autor). Logo, os fatores genéticos da UG:

“[...] dita, em parte, os possíveis resultados ontogenéticos do desenvolvimento da linguagem no cérebro humano que são restringidos de modo que apenas linguagens naturais, mas não outros tipos de linguagem, possam resultar”⁴⁰⁸ (Friederici et al., 2017, p. 1).

Em outras palavras, o módulo da linguagem dentro do cérebro, ou seja, os circuitos neurais encarregados de computar informações linguísticas são inatos, portanto, geneticamente determinados. “Tais restrições têm sido historicamente denominadas “disposições inatas”, com a linguagem subjacente referida como “gramática universal””⁴⁰⁹ (Hauser et al., 2002, p. 1577, aspas do autor). Vale mencionar que a hipótese geneticista da linguagem não defende que uma determinada língua esteja codificada no genoma humano, ou seja, nenhum bebê nasce com uma língua específica. No entanto, é aceito que fatores genéticos pré-dispõem a forma como o órgão da linguagem vai se estruturar e juntamente com o curso da experiência do falante vai funcionar. Segundo o

⁴⁰⁷ Trecho original: “[...] a complex and rich ‘instruction set’ – the ‘information’ necessary, given minimal input, to yield any natural language”.

⁴⁰⁸ Trecho original: “UG dictates, in part, the possible ontogenetic outcomes of language development in the human brain which are constrained so that only natural languages, but not other kinds of language, can result”.

⁴⁰⁹ Trecho original: “Such constraints have historically been termed “innate dispositions,” with those underlying language referred to as “universal grammar””.

linguista e neurocientista italiano Andrea Moro⁴¹⁰: “Resumindo: linguisticamente, a mente da criança é uma "mente-tronco" [tronco no sentido de célula tronco] potencialmente capaz de se especializar em qualquer linguagem humana”⁴¹¹ (Moro, 2016, p. 15, aspas do autor). Quer dizer, o estado inicial da UG predispõe os princípios gerais a serem computados. Nesse sentido:

“Línguas que não estão de acordo com os princípios da UG, conhecidas como "línguas impossíveis", não devem ser aprendidas por crianças; apenas linguagens "possíveis" que obedecem às regras de UG deveriam”⁴¹² (Friederici et al., 2017, p. 1, aspas do autor).

Portanto, a dotação biológica da UG computa informações linguísticas com base “[...] em um sistema de princípios que determinam a classe de gramáticas particulares acessíveis e suas propriedades”⁴¹³ (Chomsky, 1981, p. 2). Conforme os dados vão sendo computados pela UG, certos parâmetros gramaticais de uma língua vão sendo estabelecidos de acordo com o percurso da experiência linguística do falante. Nas palavras de Chomsky:

“Um componente da mente-cérebro humano, então, é uma configuração inicial geneticamente determinada que podemos chamar de "o estado inicial da faculdade da linguagem". Caracteriza-se por uma teoria de princípios e parâmetros e uma teoria da marcação que permite a extensão da gramática central para uma gramática completa. Vou me referir a esse complexo como "uma teoria da gramática universal (g.u)", e direi que g.u. é um componente do estado inicial. Sob o efeito desencadeador e modelador da experiência, o estado inicial é transformado em um estado mais ou menos estável, incorporando a gramática alcançada. Meu uso da terminologia mentalista não envolve nada além da suposição de que g.u. e gramática são elementos do estado inicial e estacionário, respectivamente, caracterizado em algum nível apropriado de abstração; em suma, que essa caracterização expressa condições

⁴¹⁰ Andrea Moro, nascido em 1962.

⁴¹¹ Trecho original: “In short: linguistically, the child’s mind is a "stem mind" that is potentially able to specialize in any human language”.

⁴¹² Trecho original: “Languages that do not conform to UG principles, know as "impossible languages", should not be learnable by infants; only "possible" languages abiding by UG rules should”.

⁴¹³ Trecho original: “[...] a system of principles that determine the class of accessible particular grammars and their properties”.

satisfeitas de alguma forma por mecanismos físicos do cérebro”⁴¹⁴
(Ibidem, 1981, p. 224, aspas e parênteses do autor).

É interessante observar que o componente da mente-cérebro que concerne aos sistemas amodulares e modulares, ou melhor, ao órgão cérebro-mente da linguagem possui uma organização estrutural e funcional geneticamente pré-determinada. No entanto, a suposição de Chomsky não deixa claro quais são os limites desses fatores nos substratos neuroanatômicos da UG, assim como se os sistemas amodulares da linguagem no nível mental também possuem uma configuração inicial geneticamente determinada. Nesse sentido, vale transcrever um trecho do capítulo “Linguística não é psicologia”⁴¹⁵ escrito pelo filósofo Michael Devitt⁴¹⁶:

“Se a visão estiver correta, o programa de pesquisa [de Chomsky] está revelando muito sobre a linguagem, mas, ao contrário dos anúncios, muito pouco sobre o lugar da linguagem na mente (além da ideia de que, qualquer que seja esse lugar, ela pode ser em grande parte inata). Portanto, acho que até que ponto as regras da linguagem estão na mente é uma questão bastante aberta”⁴¹⁷ (Barber, 2003, p. 111, parênteses do autor).

Cabe acrescentar que ao ser interrogado se o estado inicial da FL, ou seja, o órgão inato da linguagem é o mesmo para todos, Chomsky responde que:

[...] o estado inicial é comum à espécie. Claro, se olharmos bem nos mínimos detalhes, talvez um dia possamos encontrar diferenças entre os vários estados iniciais. No momento, as diferenças que possam

⁴¹⁴ Trecho original: “One component of the human mind-brain, then, is a genetically determined initial configuration, which we may call 'the initial state of the language faculty'. It is characterized by a theory of principles and parameters and a theory of markedness, which permits the extension of core grammar to a full grammar. I shall refer to this complex as 'a theory of universal grammar (u.g.)', and shall say that u.g. is a component of the initial state. Under the triggering and shaping effect of experience, the initial state is transformed to a more or less steady state incorporating the attained grammar. My use of mentalistic terminology involves nothing beyond the assumption that u.g. and grammar are elements of the initial and steady state, respectively, characterized at some appropriate level of abstraction; in short, that this characterization expresses conditions satisfied in some way by physical mechanisms of the brain”.

⁴¹⁵ Título original: “Linguistics is Not Psychology”.

⁴¹⁶ Michael Devitt, nascido em 1938.

⁴¹⁷ Trecho original: “If the view is right, the research programme is revealing a lot about language but, contrary to advertisements, rather little about the place of language in the mind (beyond the idea that, whatever that place, it may be largely innate). So I think that the extent to which the rules of the language are in the mind is a fairly open question”.

existir estão além da detecção, mas isso não quer dizer que elas não existam”⁴¹⁸ (Chomsky, 1984, p. 49).

Além do mais, “A gramática na sua cabeça, sem dúvida, não é idêntica à que está na minha cabeça, mas perto o suficiente para que possamos administrar. Se não estiver perto o suficiente, podemos ter problemas”⁴¹⁹ (Ibidem, 1984, p. 29). Cabe esclarecer que Chomsky utiliza a palavra “cabeça” sem especificar se está falando do cérebro, da mente ou de ambos como uma unidade no sentido do órgão cérebro-mente. Por fim, a respeito da característica gerativa do módulo da linguagem o linguista menciona que:

“Claramente, o cérebro é finito, então ele conterá algum sistema finito que consiste em algum conjunto de regras e princípios que computam e criam representações de vários tipos e, finalmente, o fazem, de fato, para uma variedade infinita de enunciados”⁴²⁰ (Ibidem, 1984, p. 30).

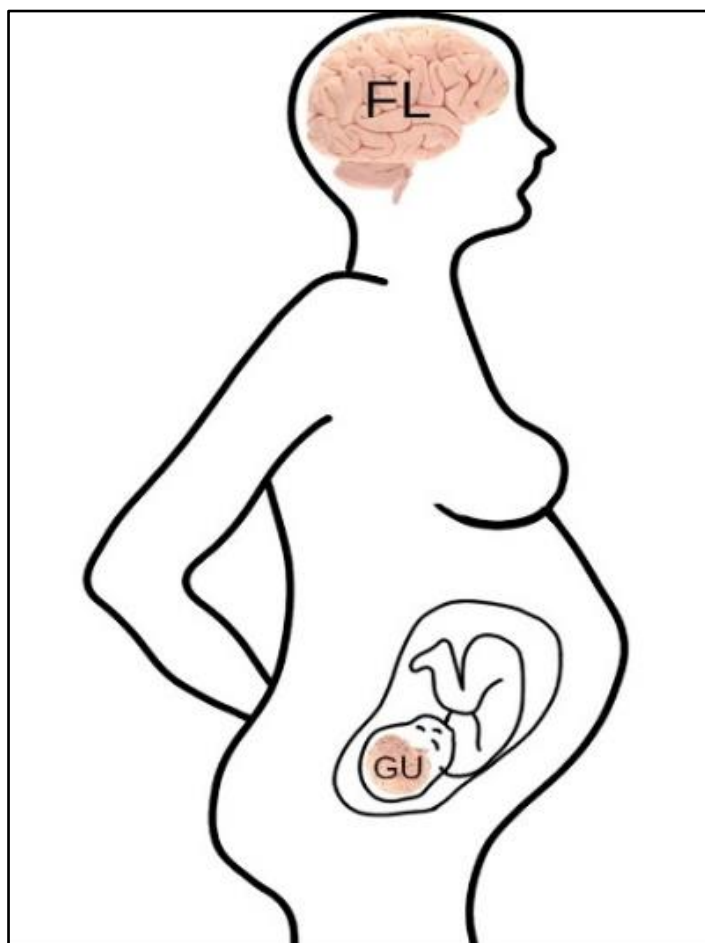
Nesse sentido, o órgão da linguagem na esfera cerebral contém um conjunto de instruções geneticamente pré-determinadas que realizam um tipo específico de computação combinatória, ou melhor gerativa, que é capaz de produzir um volume indeterminado de sentenças ou enunciados a partir de uma quantidade limitada de dados linguísticos. Colocando em poucas palavras, “Esse poder infinito [da linguagem] evidentemente reside em um cérebro finito” (Chomsky, 2009, p. 2).

⁴¹⁸ Trecho original: “[...] the initial state is common to the species. Of course, if we really look in tiny detail, maybe someday we’ll be able to find differences among the various initial states. At the moment, such differences as there may be are beyond detection, but that’s not to say that they’re not there”.

⁴¹⁹ Trecho original: “The grammar in your head is undoubtedly not identical to the one in my head, but close enough so that we can manage. If it is not close enough, we may have trouble”.

⁴²⁰ Trecho original: “Plainly, the brain is finite, so it is going to contain some finite system which consists of some set of rules and principles which compute and create representations of various kinds and ultimately do it, in fact, for an infinite variety of utterances”.

Figura 62 - Órgão da linguagem no córtex cerebral da mãe e do bebê em período de gestação.



Fonte: Produção do próprio autor. O dispositivo de aquisição da linguagem é inato, logo está presente desde a formação estrutural e funcional do córtex cerebral do bebê no período da gestação. O dispositivo também é chamado de gramática universal (GU), ou módulo linguístico do qual contém os princípios computacionais da linguagem que vão determinar os parâmetros de uma língua conforme o curso da experiência linguística do falante que vai estabelecer a faculdade da linguagem (FL), como ilustrado no córtex cerebral da mãe. Em outras palavras, o órgão, dispositivo, módulo ou GU corresponde a sistemas neurais especializados geneticamente na computação de dados linguísticos que ao se desenvolverem representam o substrato neurobiológico da FL. Vale acrescentar a seguinte citação: “A linguagem aparentemente começa com o primeiro choro de um recém-nascido. Mas, na verdade, a linguagem começa antes do nascimento, pois o feto é capaz de perceber informações acústicas no útero. A informação acústica perceptível para o feto no útero é filtrada pela água e tecidos circundantes. A informação auditiva chega ao feto filtrada por cerca de 400 Hz, fornecendo informações prosódicas, mas sem detalhes fonéticos. Assim, o feto já aprende padrões prosódicos da língua materna. Os resultados da pesquisa, que indicam que o primeiro choro de um bebê é específico da linguagem, apoiam essa visão sobre o aprendizado da linguagem antes do nascimento. Por exemplo, bebês franceses choram com uma melodia diferente dos bebês alemães, cada um espelhando a melodia da fala de sua língua materna”⁴²¹ (Mampe, Friederici, Christophe e Wermke, 2009) (Friederici, 2017, p. 161).

⁴²¹ Trecho original: “Language seemingly starts with a newborn’s first cry. But in fact, language actually starts before birth, since a fetus is able to perceive acoustic information in utero. The acoustic information perceivable for the fetus in the uterus is filtered by the surrounding water and tissue. The auditory information arrives at the fetus filtered by about 400 Hz, providing prosodic information but no phonetics details. Thus, the fetus already learns prosodic patterns of the

Considerando as hipóteses supracitadas e examinadas sobre a natureza da linguagem a pergunta que precisamos esclarecer é: como a faculdade da linguagem surgiu? Ao assumir que um módulo linguístico dentro do cérebro foi pré-determinado geneticamente Chomsky supõe “[...] que uma mutação tenha ocorrido nas instruções genéticas para o cérebro que foi então reorganizado de acordo com as leis da física e da química para instalar a faculdade da linguagem”⁴²² (Chomsky, 1998, p. 43). Chomsky recorre aos trabalhos do paleoantropólogo norte americano Ian Tattersall⁴²³ para salientar a hipótese de que a linguagem humana surgiu como um evento abrupto dentro de uma janela estreita de 50 a 100 mil anos atrás (Tattersall, 2012). Segundo Chomsky:

“[...] uma ligeira religação do cérebro [...] forneceu a base para o pensamento [linguístico] criativo e ilimitado, [ou seja] o “grande salto à frente” revelado no registro arqueológico, e as diferenças notáveis que separam os humanos modernos de seus predecessores e do resto do reino animal”⁴²⁴ (Chomsky, 2009, p. 16, aspas do autor):

Tendo em vista que a principal característica funcional da UG é a computação gerativa, Chomsky defende a hipótese de que uma mutação genética determinou uma funcionalidade infinita em um órgão estruturalmente finito. “Um fato elementar sobre a faculdade da linguagem é que ela é um sistema de infinito discreto, raro no mundo orgânico”⁴²⁵ (Chomsky, 2006, p. 183). Portanto, uma mutação alterou certas instruções genéticas no cérebro que determinou o surgimento abrupto da FL, ou seja, o grande salto da cognição linguística separou a linguagem humana do sistema de comunicação dos animais. Colocando em outras palavras, enquanto os animais possuem um repertório limitado de sinais acústicos que são repetidos durante a comunicação, os seres humanos dispõem de uma FL que além de repetir sons ou palavras tem

mother tongue. Research findings, which indicate that a baby’s first cry is language specific, support this view about language learning before birth. For example, French babies cry with a melody that is different from German babies, each mirroring the speech melody of their mother tongue”.

⁴²² Texto original redigido em português.

⁴²³ Ian Tattersall, nascido em 1945.

⁴²⁴ Trecho original: “[...] some slight rewiring of the brain [...] providing the basis for unbounded and creative thought, the “great leap forward” revealed in the archaeological record, and the remarkable differences separating modern humans from their predecessors and the rest of the animal kingdom”.

⁴²⁵ Trecho original: “An elementary fact about the language faculty is that it is a system of discrete infinity, rare in the organic world”.

o poder computacional de combinar ou gerar novos enunciados ou sentenças nunca antes aprendidas ou ouvidas. De acordo com Chomsky:

“O relato mais simples do “Grande Salto Adiante” na evolução dos humanos seria que o cérebro foi reconectado, talvez por alguma leve mutação para fornecer a operação [gerativa]. Há especulações sobre a evolução da linguagem que postulam um processo muito mais complexo: primeiro alguma mutação que permite expressões de duas unidades, talvez gerando vantagem de seleção ao reduzir a carga de memória para itens lexicais; em seguida, outras mutações para permitir outras maiores; e finalmente o Grande Salto que produz [a computação gerativa]”⁴²⁶ (Ibidem, 2006, p. 184, aspas do autor).

Vale complementar com o seguinte trecho:

[...] devemos primeiro ser claros sobre o que é que evoluiu. É claro que não são línguas, mas sim a capacidade de linguagem, FL, especificamente GU. As línguas mudam, mas não evoluem. É inútil sugerir que as línguas evoluem por evolução não biológica (cultural), uma frase comum, mas enganosa. Este último não é evolução no sentido técnico. Com essas ressalvas em mente, usarei o termo convencional “evolução da linguagem”, reconhecendo que pode ser e às vezes é enganoso. Um fato sobre a evolução da linguagem que parece ser bastante firme é que não houve nenhum significado desde que nossos ancestrais deixaram a África, talvez 60-80 mil anos atrás; e mais profundamente no tempo, desde que as populações humanas se separaram. Não há diferenças de grupo conhecidas na capacidade de linguagem ou capacidades cognitivas em geral. A separação de populações humanas pode ser de cerca de 120 mil anos atrás ou mais, indicam estudos genômicos recentes (Gronau et al., 2011). Se assim for, então a GU deve ter surgido junto ou não muito depois do aparecimento do Homo sapiens, estimado em cerca de 200 mil anos atrás. O registro arqueológico fornece evidências bastante firmes de representação simbólica e outras capacidades criativas em cerca de 75 mil anos atrás. Estes são, é claro, períodos muito curtos de tempo evolutivo. Outro fato ao qual podemos apelar, pelo menos com um

⁴²⁶ Trecho original: “The simplest account of the “Great Leap Forward” in the evolution of humans would be that the brain was rewired, perhaps by some slight mutation, to provide the operation [...]. There are speculations about the evolution of language that postulate a far more complex process: first some mutation that permits two-unit expressions, perhaps yielding selectional advantage by reducing memory load for lexical items; then further mutations to permit larger ones; and finally the Great Leap that yields [...]”.

certo grau de confiança, é que antes do aparecimento do Homo sapiens, a linguagem pode não ter existido. É então, por enquanto, uma suposição razoável de que a linguagem (especificamente, GU) surgiu em algum ponto em uma janela muito estreita, junto com o aparecimento do Homo sapiens ou não muito tempo depois, e não evoluiu desde então (Berwick e Chomsky, 2016). Além desses dois fatos – um razoavelmente firme, o outro plausível – o registro disponível nos diz muito pouco, e o mesmo parece valer para capacidades cognitivas humanas complexas em geral. Essa é uma base muito tênue para estudar a evolução da linguagem. No entanto, produz uma sugestão importante: que o que evoluiu, GU, deve ser bastante simples em sua essência. Se assim for, então a aparente complexidade e variedade das linguagens deve ser uma questão bastante superficial, tanto em termos de sua estrutura quanto da história evolutiva da GU, decorrente de mudanças desde que a capacidade compartilhada evoluiu⁴²⁷ (Chomsky, 2017, p. 296, parênteses e aspas do autor).

De modo geral podemos compreender que fatores genéticos determinaram a configuração estrutural e conseqüentemente funcional do órgão da linguagem que passou a computar um conjunto finito de dados linguísticos de forma infinita. Ou seja, uma ligeira mutação genética alterou as bases

⁴²⁷ Trecho original: “[...] we should first be clear about what it is that has evolved. It is, of course, not languages but rather the capacity for language, FL, specifically UG. Languages change, but they do not evolve. It is unhelpful to suggest that languages evolve by non-biological (cultural) evolution, a common but misleading phrase. The latter is not evolution in the technical sense. With these provisos in mind, I will use the conventional term “evolution of language,” recognizing that it can be and sometimes is misleading.

One fact about evolution of language that seems to be quite firm is that there has been none of any significance since our ancestors left Africa, perhaps 60–80 kya; and more deeply in time, since human populations separated. There are no known group differences in capacity for language, or cognitive capacities generally. Separation of human populations might be some 120 kya or more, recent genomic studies indicate (Gronau et al., 2011). If so, then UG must have emerged along with or not long after the appearance of Homo sapiens, estimated to be about 200 kya. The archaeological record yields fairly firm evidence of symbolic representation and other creative capacities at about 75 kya. These are, of course, very short periods of evolutionary time. Another fact to which we can appeal, at least with a degree of confidence, is that before the appearance of Homo sapiens, language may not have existed at all. It is then, for now, a reasonable surmise that language (specifically, UG) emerged at some point in a very narrow window, along with the appearance of Homo sapiens or not long after, and has not evolved since (Berwick and Chomsky, 2016). Apart from these two facts – one reasonably firm, the other plausible – the available record tells us very little, and the same seems to hold for complex human cognitive capacities generally. That is a very thin basis for studying evolution of language. It does, however, yield one important suggestion: that what evolved, UG, must be quite simple at its core. If so, then the apparent complexity and variety of languages must be a rather superficial matter, both in terms of their structure and the evolutionary history of UG, deriving from changes since the shared capacity evolved”.

neurobiológicas da UG que passou a realizar um tipo específico de computação que corresponde a sintaxe gerativa. É oportuno citar que:

“A diferença genética entre primatas humanos e não humanos é inferior a 2 por cento, e existem apenas pequenas diferenças na neuroanatomia básica. Essas pequenas diferenças, no entanto, podem ser cruciais e merecem um olhar mais atento, tanto no que diz respeito à estrutura cerebral quanto à função cerebral”⁴²⁸ (Friederici, 2017, p. 209 – 210).

Cabe lembrar que o córtex cerebral humano é três vezes maior que do chimpanzé (Buckner e Krienen, 2013), porém uma pequena mutação genética pode ter alterado a organização anatomofuncional de populações neurais que se especializaram em computar informações linguísticas. Aliás, parece ser esse o motivo pelo qual Chomsky emprega a palavra “sutil” ou a expressão “ligeira religação no cérebro”, apesar do fator genético específico pelo surgimento da FL permanecer desconhecido. Um dos genes mais citados na literatura sobre a correlação genética-cérebro-linguagem é o gene FOXP2 (Fisher, Lai e Monaco, 2003).

“Foi proposto que o FOXP2 é um gene que desempenha um papel importante na fala e na linguagem porque a mutação desse gene foi identificada em uma família com problemas de fala e linguagem (Fisher, Lai e Monaco, 2003), embora fossem mais relacionados a fala do que à problemas de linguagem como tal. [...] Hoje os geneticistas concordam que a faculdade da linguagem não pode ser rastreada a um único gene, mas sim a uma série de genes relacionados que contribuem conjuntamente para as vias neurais que são importantes para a maturação normal do cérebro e possivelmente para o desenvolvimento da linguagem. No que diz respeito ao desenvolvimento do cérebro, sabe-se que os programas genéticos ajudam a orientar a diferenciação neuronal, migração e conectividade durante o desenvolvimento, juntamente com a contribuição do ambiente dependente da experiência (Fisher e Vernes, 2015). Esses resultados fornecem evidências de uma relação entre os genes e o

⁴²⁸ Trecho original: “The genetic difference between human and non-human primates is less than 2 percent, and only minor differences exist in the basic neuroanatomy. These minor differences, however, may be crucial and deserve a closer look, both with respect to brain structure and brain function”.

desenvolvimento do cérebro em geral, mas eles não falam diretamente com a genética da linguagem”⁴²⁹ (Friederici, 2017, p. 222).

Nesse sentido, é pertinente considerar a linguagem como poligenética tendo em vista que se trata de um sistema biológico complexo. Por exemplo, a transcrição da proteína do gene FOXP2 parece estar envolvida com o controle motor da fluência da fala e “[...] pode não estar diretamente implicado nos aspectos centrais de computação da linguagem”⁴³⁰ (Di Sciullo et al., 2010, p. 15). Além disso, um estudo que combinou análise genética e neuroimagem para investigar a estrutura cerebral da área de Broca e o comportamento verbal constatou que o gene GPR56 pode estar envolvido com distúrbios intelectuais e da linguagem sem qualquer disfunção do sistema motor (Bae et al., 2014). A genética de imagens cerebrais é uma área emergente com grande potencial para pesquisar as bases neurogenéticas da FL.

“Com essa abordagem, os cientistas testam associações entre variantes genômicas e variações em aspectos da estrutura ou função cerebral, avaliadas com técnicas de neuroimagem não invasivas”⁴³¹ (Fisher e Vernes, 2015, p. 303).

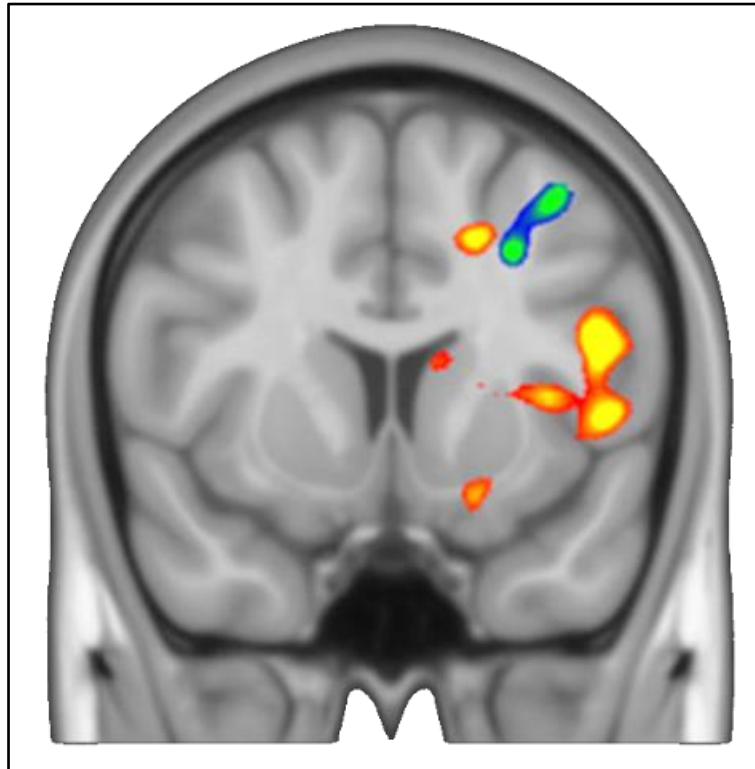
A seguinte imagem ilustra um trabalho utilizando a combinação de ambas as técnicas.

⁴²⁹ Trecho original: “It has been proposed that FOXP2 is a gene that plays a major role in speech and language because the mutation of this gene was identified in a family with speech and language problems (Fisher, Lai, and Monaco, 2003), although they were more speech-related rather than language problems as such. [...] Today geneticists agree that the language faculty can not be traced down to a single gene, but rather to a number of related genes that jointly contribute to neural pathways that are important for normal brain maturation and possibly the development of language. With respect to brain development it is known that genetic programs help to guide neuronal differentiation, migration, and connectivity during development, together with experiencedependent contribution of the environment (Fisher and Vernes, 2015). These results provide evidence for a relation between genes and brain development in general, but they do not speak directly to the genetics of language”.

⁴³⁰ Trecho original: “[...] might not be implicated directly in the central computation aspects of language”.

⁴³¹ Trecho original: “With this approach, scientists test for associations between genomic variants and variations in aspects of brain structure or function, assessed with noninvasive neuroimaging techniques”.

Figura 63 - Genética de neuroimagem.



Fonte: Adaptado de Whalley et al., (2011, p. 946). A imagem produzida por um exame de fMRI mostra estruturas associadas ao genótipo CNTNAP2 durante o processamento de uma tarefa linguística. Os participantes realizaram a leitura silenciosa de frases que não continham a última palavra e era solicitado que completassem a mesma apenas pensando em uma palavra adequada. O giro frontal inferior ilustrado na cor vermelha contém o gene (rs2710102), enquanto o giro temporal médio na cor azul inclui o gene (rs779745), ambos localizados no hemisfério esquerdo. O estudo revelou que uma variação genética no CNTNAP2 contido nas estruturas cerebrais examinadas pode comprometer o processamento da linguagem.

A correlação entre genética, organização estrutural e funcional do cérebro e a linguagem são sumarizadas nos seguintes pontos:

- “1. Uma compreensão básica da biologia molecular é essencial para os pesquisadores interessados na base biológica da linguagem porque a genética está no cerne das questões sobre ontogenia, especificidade e origens evolutivas.
2. O genoma humano codifica uma grande quantidade de informações empacotadas em genes. A expressão desses genes é intrinsecamente regulada em vários níveis, aumentando a complexidade do sistema.
3. Diversos produtos gênicos (RNA e proteínas) influenciam as propriedades fundamentais das células do cérebro, afetando o modo como essas células se desenvolvem e funcionam.
4. Os produtos gênicos medeiam aspectos do desenvolvimento e função neuronal, incluindo proliferação, migração, crescimento

de neuritos e orientação axônica, bem como desenvolvimento, manutenção e plasticidade de sinapses.

5. Comportamentos complexos, como a linguagem são sustentados por atividades de circuitos neuronais. O desenvolvimento, a conectividade e a plasticidade dos circuitos são conduzidas por fatores genéticos em uma complexa interação com informações ambientais.

6. Disrupções genéticas estão implicadas em distúrbios do desenvolvimento envolvendo problemas graves de fala e linguagem. Há também considerável variabilidade genética na população, o que provavelmente contribuirá para diferenças mais sutis na habilidade.

7. A variação genômica existente na população, de polimorfismos comuns a mutações raras, pode nos guiar para substratos moleculares subjacentes à linguagem, especialmente devido às novas tecnologias genéticas de alto rendimento.

8. A interação entre as disciplinas é crucial para conectar genótipos e fenótipos de forma confiável. Um exemplo é a genética de neuroimagem, cujo sucesso depende de desenho de estudo robusto, poder adequado e análises cuidadosas⁴³² (Fisher e Vernes, 2015, p. 304).

É curioso pensar que a correlação genética-cérebro-linguagem abrange o campo de pesquisa da ciência da linguagem como um todo. Por isso, é notório que para elaborar uma teoria geral da linguagem é preciso reconhecer os fundamentos genéticos que delineiam a configuração estrutural e funcional das células neurais encarregadas pelo surgimento da UG. Vale mencionar que “[...] o genoma humano (com apenas cerca de 24.000 genes) não pode e não precisa

⁴³² Trecho original: “1. A basic understanding of molecular biology is essential for researchers interested in the biological basis of language because genetics lies at the heart of questions about ontogeny, specificity, and evolutionary origins. 2. The human genome encodes a large amount of information packaged into genes. Expression of these genes is intricately regulated at multiple levels, increasing the complexity of the system. 3. Diverse gene products (RNA and proteins) influence the fundamental properties of cells in the brain, affecting how those cells develop and function. 4. Gene products mediate aspects of neuronal development and function, including proliferation, migration, neurite outgrowth, and axon guidance, as well as development, maintenance, and plasticity of synapses. 5. Complex behaviors such as language are underpinned by activities of neuronal circuits. The development, connectivity, and plasticity of circuits are driven by genetic factors in a complex interplay with environmental input. 6. Gene disruptions are implicated in developmental disorders involving severe speech and language problems. There is also considerable genetic variability in the population, which is likely to contribute to more subtle differences in ability. 7. Existing genomic variation in the population, from common polymorphisms to rare mutations, can guide us to molecular substrates underlying language, particularly given novel high-throughput genetic technologies. 8. Interaction between disciplines is crucial to reliably connect genotypes and phenotypes. One example is neuroimaging genetics, the success of which depends on robust study design, adequate power, and careful analyses”.

codificar a fiação precisa de neurônio a neurônio do cérebro”⁴³³ (Di Sciullo et al., 2010, p. 8). Mesmo assim, Chomsky faz a seguinte colocação:

“Como os princípios básicos entraram no programa genético? Essas questões vão muito além da compreensão atual, não apenas para a linguagem, mas também para sistemas biológicos muito mais simples”⁴³⁴ (Chomsky, 2000a, p. 62).

Apesar da lacuna epistemológica entre genética, cérebro e linguagem permanecer aberta as pesquisas em neurolinguística seguem investigando as bases neurobiológicas da linguagem como revela a seguinte citação:

“Um estudo recente de imagem cerebral forneceu evidências para a localização do substrato neural [da computação sintática] [...] na subparte da [área] BA 44, nomeadamente a porção anterior mais ventral da BA 44, com uma consistência muito elevada em todos os indivíduos. Em contraste, o processamento de sequências de duas palavras sem hierarquia sintática (por exemplo, “maçã, navio” ou “maçã, nojo”) foi localizado no opérculo frontal/ínsula anterior – uma região do cérebro filogeneticamente mais antiga que a própria BA 44. Assim, de todos esses resultados empíricos, parece que o processamento da hierarquia sintática envolve seletivamente uma região cortical filogeneticamente recente, chamada BA 44, com pouca variação entre os indivíduos”⁴³⁵ (Friederici et al., 2017, p. 1-2).

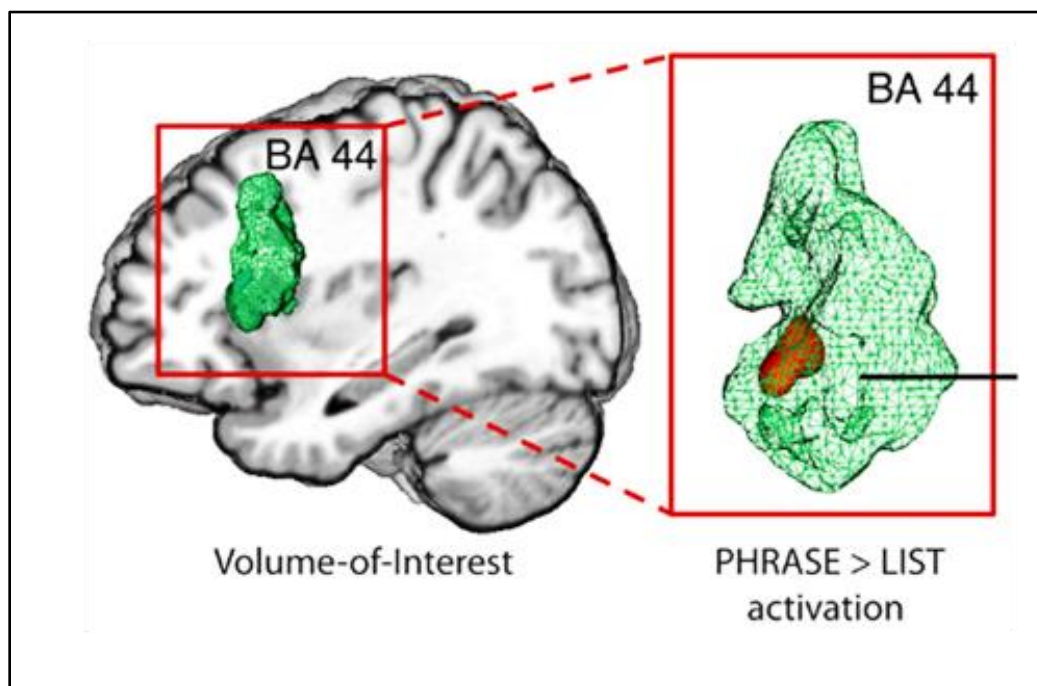
Cabe salientar que o substrato neural da computação sintática corresponde à investigação estrutural do órgão da linguagem no vértice cerebral, ou seja, onde se localiza corticalmente o módulo recrutado para computar a sintaxe. A seguinte imagem ilustra a região ativada durante a construção de estruturas frasais simples:

⁴³³ Trecho original: “[...] human genome (with only about 24,000 genes) cannot and need not encode the precise neuron-to-neuron wiring of the brain”.

⁴³⁴ Trecho original: ““How did the basic principles get into the genetic programme? Such questions go vastly beyond current understanding, not just for language, but even for much simpler biological systems”.

⁴³⁵ Trecho original: “A recent brain imaging study provided evidence for the localization of the neural substrate [syntactic computation] [...] subpart of BA 44, namely the most ventral anterior portion of BA 44, with a very high consistency across individual. In contrast, the processing of two-word sequences without syntactic hierarchy (for example, “apple, ship” or “apple, pish”) was localized to the frontal operculum/anterior insula – a phylogenetically older brain region than BA 44 itself. Thus, from all these empirical results, it appears that the processing of syntactic hierarchy selectively involves a phylogenetically recent cortical region, namely BA 44, with little variance across individuals”.

Figura 64 - Substrato neural da computação sintática.



Fonte: Adaptado de Zaccarella e Friederici et al., (2015, p. 5). A figura mostra em verde a área de Broca localizada no lobo frontal esquerdo. A imagem ampliada ilustra em vermelho a ativação da subparte da porção anterior mais ventral da área de Broca (BA 44) durante a construção de uma frase simples, ou seja, composta por um determinante e um substantivo.

A hipótese de que o substrato neurobiológico da GU está enterrado na região de Broca onde se encontra a subparte (BA 44), é reforçada pelo seguinte trecho do artigo “A área de Broca e o instinto da linguagem”⁴³⁶ (2003):

“A ativação da área Broca é independente do idioma (inglês, chinês, alemão, italiano ou japonês) de assuntos, sugerindo uma especialização sintática universal desta área entre as línguas ‘reais’. Com base nesses resultados [...] postulamos que essa região do cérebro é especializada para a aquisição e processamento de estruturas hierárquicas (e não lineares), que representam o caráter comum de todas as gramáticas conhecidas”⁴³⁷ (Musso et al., 2003, p. 5, parênteses e aspas do autor).

⁴³⁶ Título original: “Broca’s area and the language instinct”.

⁴³⁷ Trecho original: “Activation of Broca’s area is independent of the language (English, Chinese, German, Italian or Japanese) of subjects, suggesting a universal syntactic specialization of this area among ‘real’ languages. On the basis of these [...] results, we posit that this brain region is specialized for the acquisition and processing of hierarchical (rather than linear) structures, which represent the common character of every known grammar”.

Nesse sentido, podemos inferir que os substratos neurobiológicos do órgão da linguagem ou simplesmente da GU, comportam circuitos neurais localizados na área de Broca em particular na sub-região (BA 44) que foram estruturalmente e, portanto, funcionalmente determinados por instruções genéticas, ou melhor, por uma mutação genética que resultou em um sistema modular da linguagem especializado na aquisição e na computação sintática. Afinal, as estruturas neurais da GU podem ser localizadas por meio de exames de neuroimagem, porém como essas informações são computadas e representadas no órgão mental da linguagem permanecem desconhecidas.

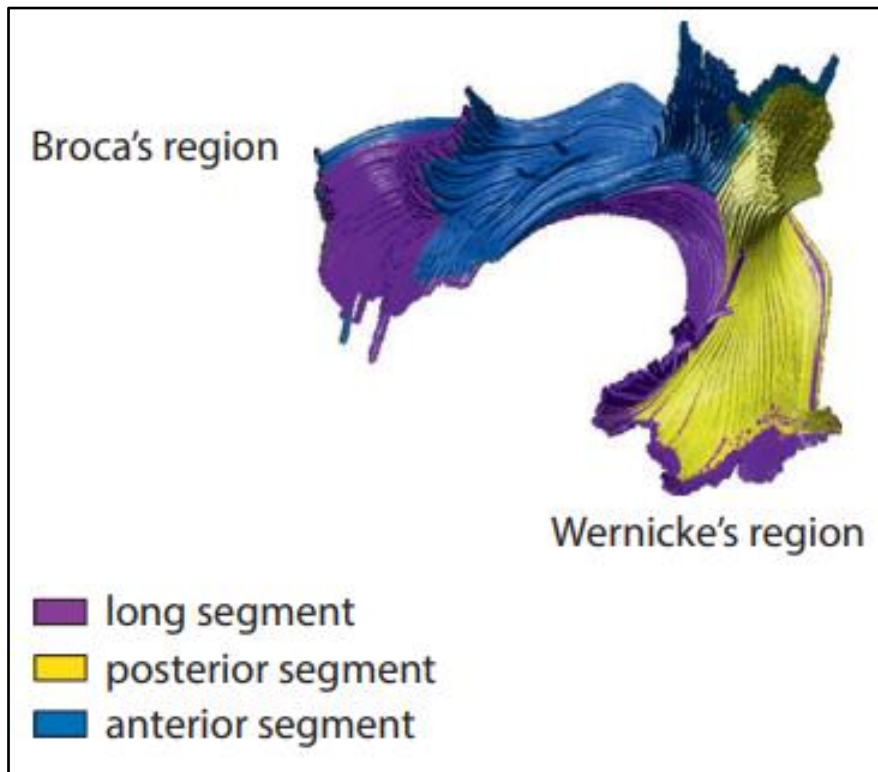
Como mencionado anteriormente, o substrato neural da linguagem humana e do sistema de comunicação dos símios são semelhantes, porém uma mutação genética possivelmente reconfigurou anatomicamente e funcionalmente a sub-área (BA 44) de forma que “[...] pode representar um desenvolvimento evolutivo de grande significado, diferenciando humanos de outros primatas”⁴³⁸ (Musso et al., 2003, p. 6).

“Até agora, não há evidências de que primatas não humanos ou recém-nascidos humanos possam processar frases estruturadas hierarquicamente. Para processar tais frases, humanos adultos possuem uma rede específica incluindo BA 44 funcionalmente especificado que está estruturalmente e funcionalmente conectado ao pSTC [córtex temporal superior posterior] esquerdo [corresponde a uma parte da área de Wernicke]. As evidências indicam que essa rede não está totalmente desenvolvida em primatas não humanos e imatura em bebês jovens. Sua mielinização pode seguir uma trajetória maturacional geneticamente determinada durante o desenvolvimento. Dado que primatas não humanos e bebês humanos não são capazes de processar hierarquias sintáticas complexas, concluímos que a rede dorsal consistindo de BA 44 conectada através do fascículo arqueado ao pSTC é crucial para essa habilidade humana distinta”⁴³⁹ (Friederici et al., 2017, p. 7).

⁴³⁸ Trecho original: “[...] may represent an evolutionary development of great significance, differentiating humans from other primates”.

⁴³⁹ Trecho original: “So far there is no evidence that non-human primates or human newborns can process hierarchically structured phrases. To process such phrases, adult humans possess a specific network including a functionally specified BA 44 that is structurally and functionally connected to the left pSTC. The evidence indicates that this network is not fully involved in non-human primates, and immature in Young infants. Its myelination may follow a genetically determined maturational trajectory during development. Given that both non-human primates and

Figura 65 - Tractografia tridimensional de fibras dorsais do córtex cerebral humano.

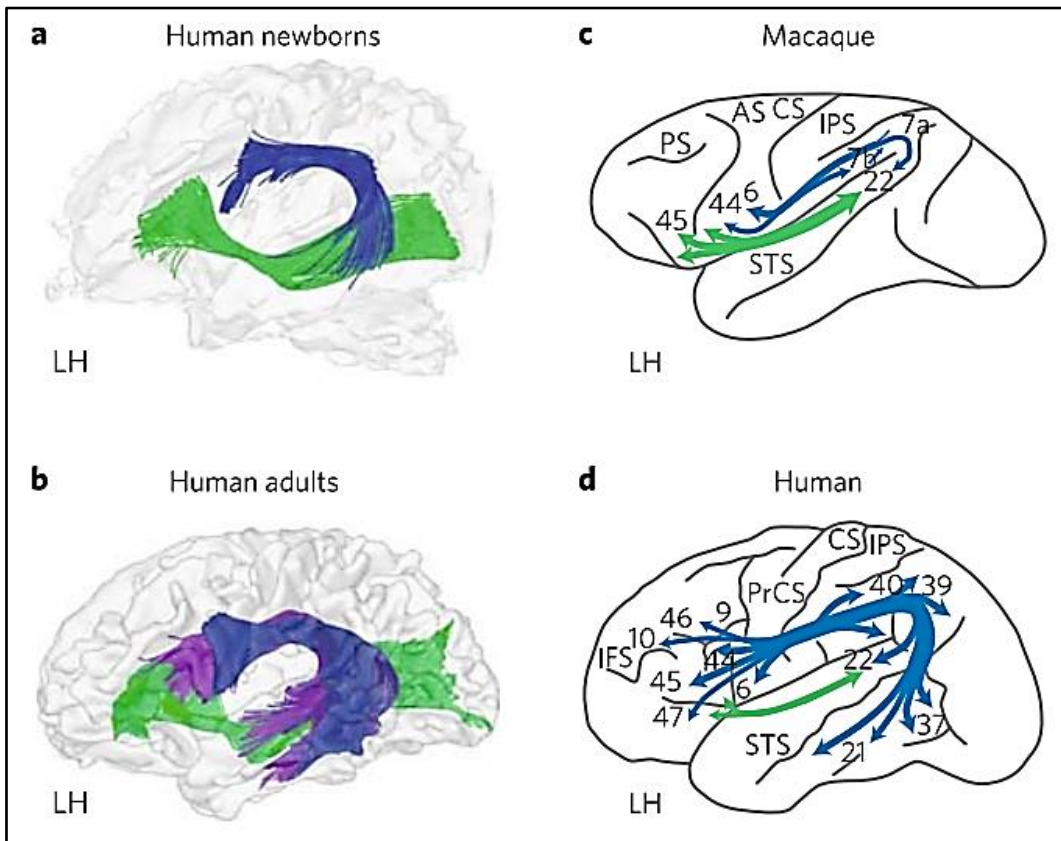


Fonte: Friederici et al., (2017, p. 106). A região de Broca está conectada diretamente a região de Wernicke por intermédio do fascículo arqueado (segmento longo de axônios na cor roxa). Uma via indireta corre lateralmente e é composta por um segmento anterior na cor azul que estabelece a conexão entre o córtex parietal inferior e a região de Broca, além de um segmento posterior na cor amarela que conecta o córtex parietal a região de Wernicke.

Apesar da estrutura cortical encarregada pela computação sintática ter sido localizada na área de Broca (BA 44), a conexão com outras populações neurais distribuídas no córtex temporal superior posterior esquerdo por intermédio do fascículo arqueado alude ao órgão cerebral da linguagem como um todo. A seguinte imagem permite comparar visualmente os feixes de fibras da linguagem humana e do sistema de comunicação de símios.

human infants are not able to process complex syntactic hierarchies, we conclude that the dorsal network consisting of BA 44 connected via the arcuate fascicle to the pSTC is crucial for this distinctive human ability”.

Figura 66 - Feixes de fibras axonais no córtex cerebral humano e no símio.

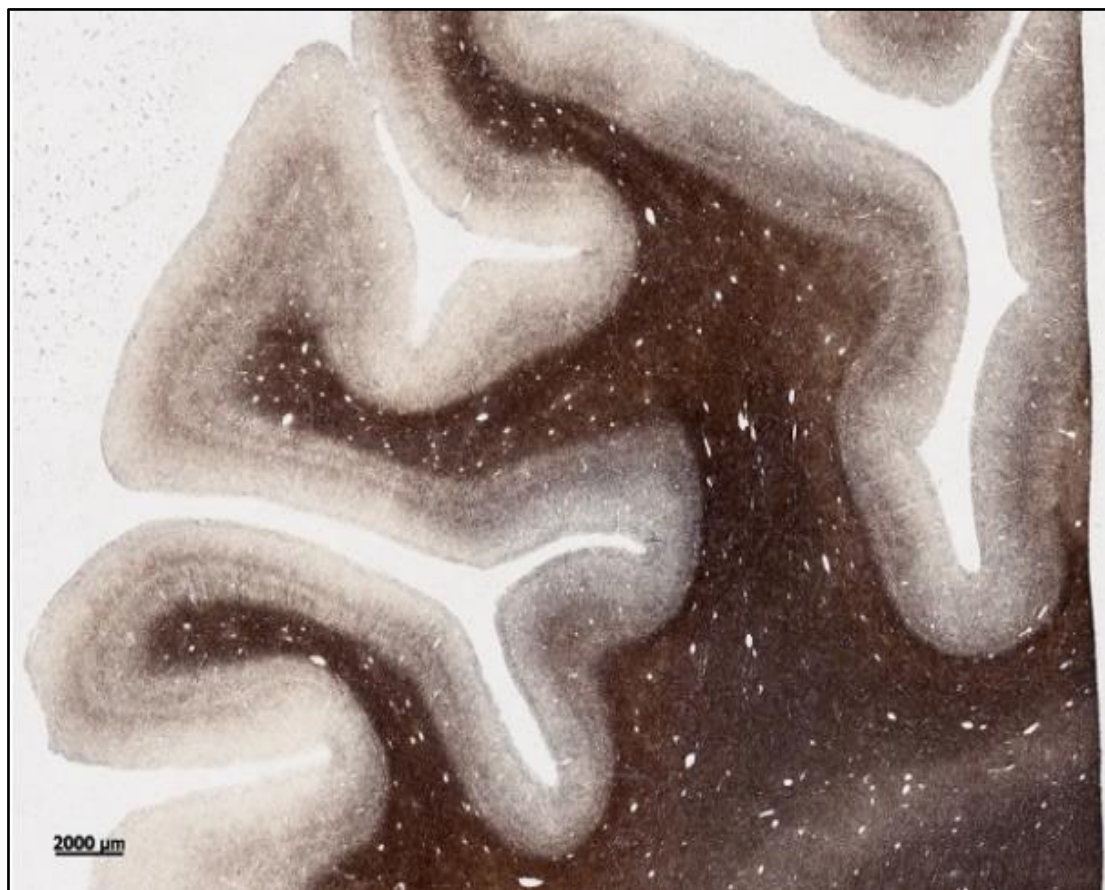


Fonte: Friederici et al., (2017, p. 7). As imagens (a-b) ilustram os feixes de fibras da linguagem no hemisfério esquerdo em recém-nascidos (a), e em humanos adultos em (b). A imagem (d) representação o modelo da conectividade estrutural das redes de fibras conforme a técnica da tractografia mostrada em (b). A ilustração (c) representa os feixes de fibras do cérebro do macaco rhesus *post-mortem*. No cérebro adulto, (imagem b), duas vias dorsais são detectáveis: uma conecta o córtex temporal por meio do fascículo arqueado ao giro frontal inferior, ou seja, à porção posterior da área de Broca (BA 44) (trato roxo); e a outra conecta o córtex temporal ao córtex pré-motor (trato azul). Em recém-nascidos, é possível visualizar a via ventral (trato verde) que liga o giro frontal ventral inferior ao córtex temporal que está presente tanto em adultos quanto em recém-nascidos. A via dorsal (trato azul), em recém-nascidos ainda não é mielinizada e, portanto, tem baixa função. No símio, a via dorsal (setas em azul) que termina em (BA 44) não está bem desenvolvida. No cérebro do humano adulto, a via dorsal que termina em (BA 44) é forte, como pode ser visto na imagem (b – d em azul). A conexão entre o córtex temporal posterior e (BA 44) está totalmente desenvolvida apenas no cérebro do humano adulto (trato verde em b).
 Legenda: Hemisfério esquerdo (LH); sulco arqueado (AS); sulco central (CS); sulco frontal inferior (IFS); sulco parietal inferior (IPS); sulco pré-central (PrCS); sulco principal (OS); sulco temporal superior (STS).

Como citado anteriormente, existe a hipótese de que fatores genéticos podem pré-determinar o crescimento de bainhas de mielina que envolvem inúmeros feixes de fibras da substância branca que conectam regiões estruturais e funcionais recrutadas para a computação sintática. Vale lembrar que a mielina é uma substância gordurosa de aparência incolor que circunda os axônios das células nervosas e funciona como uma camada isolante que facilita a rápida transmissão de impulsos elétricos entre os neurônios.

“De um modo geral, a composição em peso seco da mielina é de cerca de 30% de proteína (incluindo a proteína básica da mielina), cerca de 20% de colesterol, cerca de 20% de galactolípídeos contendo enxofre em seus grupos de cabeça e cerca de 30% de fosfolípídios”⁴⁴⁰ (Toga, 2015, p. 137, parênteses do autor).

Figura 67 - Massa branca de mielina no córtex cerebral humano.



Fonte: Toga (2015, p. 138). Micrografia de tecido cerebral humano corado para mielina usando a técnica de coloração com prata Gallyas. A imagem mostra a massa branca de mielina composta por 70% de água e o tecido cortical cinzento com 80% de água e um volume menor de lipídios. A massa cinzenta contém a soma dos neurônios, ou seja, o corpo celular, enquanto a parte esbranquiçada é formada por feixes ou vias de axônios envoltos em bainhas de mielina contendo mais lipídios.

É oportuno citar cinco efeitos da mielização de axônios:

- (a) acelera a velocidade de condução dos potenciais de ação por uma ordem de grandeza (Waxman, 1980),
- (b) diminui muito o custo de energia de transmissão (Harris & Atwell, 2012),

⁴⁴⁰ Trecho original: “Broadly speaking, the dry-weight composition of myelin is about 30% protein (including myelin basic protein), about 20% cholesterol, about 20% galactolipids containing sulfur in their head groups, and about 30% phospholipids”.

- (c) aumenta a robustez dos axônios (Staal & Vickers, 2011),
- (d) reduz a diafonia elétrica [interferência gerada por variações de tensão] entre axônios e outros neuritos próximas,
- (e) reduz a plasticidade sináptica inibindo o crescimento de neuritos (McGee, Yang, Fischer, Daw e Strittmatter, 2005; Ng, Cartel, Roder, Roach e Lozano, 1996)⁴⁴¹ (Ibidem, 2015, p. 138 – 139).

Apesar do avanço nas pesquisas que investigam a correlação entre genética, desenvolvimento cerebral do qual inclui a mielinização dos axônios e o exame do comportamento verbal, é notório que os níveis de interdependências entre esses fatores não estão inteiramente esclarecidos como revela a seguinte questão:

“É o aumento do uso de sintaxe complexa que leva ao aumento da mielinização do trato de fibra dorsal visando BA 44, ou será que o aumento biologicamente determinado da mielina desse trato de fibras melhora o desempenho da sintaxe?”⁴⁴² (Friederici et al., 2017, p. 191).

Mesmo assim, Friederici e colaboradores (2017, p. 118) sugerem que “[...] o grau de mielinização prediz o comportamento do processamento de sentenças não canônicas sintaticamente complexas”⁴⁴³. Nesse sentido, a mielina influencia na velocidade da computação sintática. Vale ressaltar que um programa de pesquisa interessando no surgimento e desenvolvimento da FL, assim como na computação sintática deve abranger o exame dos níveis genético, neurobiológico e comportamental. Afinal:

[...] dados filogenéticos e ontogenéticos fornecem evidências convincentes para o papel específico de BA 44 e do fascículo arqueado conectando BA 44 e o córtex temporal posterior-superior para a faculdade de linguagem. Essas estruturas cerebrais podem ter surgido para servir a capacidade humana de processar a sintaxe. Esse trato de

⁴⁴¹ Trecho original: “(a) accelerates the conduction speed of action potentials by an order of magnitude (Waxman, 1980), (b) greatly decreases energy cost of transmission (Harris & Attwell, 2012), (c) increases robustness of axons (Staal & Vickers, 2011), (d) reduces electrical crosstalk between axons and other nearby neurites, (e) reduces synaptic plasticity by inhibiting neurite growth (McGee, Yang, Fischer, Daw, & Strittmatter, 2005; Ng, Cartel, Roder, Roach, & Lozano, 1996)”.

⁴⁴² Trecho original: “Is it the increased use of complex syntax that leads to increased myelination of the dorsal fiber tract targeting BA 44, or is it that the biologically determined increase of the myelin of this fiber tract enhances syntax performance?”.

⁴⁴³ Trecho original: “[...] the degree of myelination predicts behavior in processing syntactically complex non-canonical sentences”.

fibra pode ser visto como o elo perdido que precisa evoluir para tornar possível a capacidade total da linguagem humana”⁴⁴⁴ (Friederici, 2017, p. 231).

Nessa perspectiva, o conjunto de estruturas neurobiológicas do órgão da linguagem, ou seja da FL “[...] apontam para um sistema de linguagem neural universal amplamente independente da modalidade de entrada, embora possa ser ligeiramente modulado pelo uso ao longo da vida de uma determinada língua”⁴⁴⁵ (Ibidem, 2017, p. 162). Recapitulando as ideias anteriores podemos inferir que a via dorsal no hemisfério esquerdo da qual inclui a área de Broca (BA 44 - 45) conectada a área de Wernicke no córtex temporal superior posterior por intermédio do fascículo arqueado representa os sistemas modulares da linguagem, ou seja, os módulos e intermódulos que compõe o órgão da linguagem determinado estruturalmente e funcionalmente por programas genéticos, assim como pela experiência linguística do falante. Portanto, um sistema neural universal da linguagem comporta a hipótese de um órgão cerebral especializado na aquisição e na computação da linguagem, ou seja, um sistema finito com regras de operação, isto é, princípios estabelecidos por restrições biológicas que computam e criam representações de vários tipos (fonético, semântico e sintático), que geram infinitas possibilidades de enunciação. Em poucas palavras, o sistema neural universal da linguagem está contido em um cérebro finito, mas com um poder computacional infinito.

Considerando a hipótese teórica que a UG surgiu a partir de uma mutação genética que especificou a identidade neural do módulo linguístico, ou seja, o caráter estrutural e funcional do órgão da linguagem foi determinado por uma expressão poligenética. É pertinente considerar que o programa de pesquisa chomskyano advoga pela concepção de uma evolução saltacional da linguagem. Quer dizer, o fato de a linguagem ter surgido de modo abrupto em uma janela de tempo consideravelmente curta, sugere que sua emergência rompeu com o

⁴⁴⁴ Trecho original: “[...] phylogenetic and ontogenetic data provide compelling evidence for the specific role of BA 44 and the arcuate fasciculus connecting BA 44 and the posterior superior temporal cortex for the language faculty. These brain structures may have emerged to subserve the human capacity to process syntax. This fiber tract could be seen as the missing link that has to evolve in order to make the full human language capacity possible”.

⁴⁴⁵ Trecho original: “[...] These data point toward a universal neural language system largely independent of the input modality, even though it can be modulated slightly by the lifelong use of a given language”.

sistema de comunicação de outros animais. Logo, a teoria da descontinuidade da evolução da linguagem infere que estruturas neurofisiológicas foram alteradas “subitamente” por intermédio de mudanças filogenéticas canalizadas por pressões ecológicas (Lenneberg, 1967). A teoria da descontinuidade difere da hipótese exaptativa sugerida pelos pesquisadores de Parma que defendem que a exaptação dos NE encontrados no córtex pré-motor do símio, isto é, no complexo da área 6 (setor F5) que é homólogo a área de Broca “[...] pode servir como o elo evolutivo crucial entre primatas não humanos e humanos, sugerindo um passo direto do gesto para a linguagem”⁴⁴⁶ (Hauser, Chomsky e Fitch, 2002, p. 1570). Ou seja, a exaptação neural das células espelho ocorreu de forma gradual, quer dizer, a organização estrutural e funcional do módulo de NE na área de Broca passou a computar informações linguísticas dos componentes fonéticos, semânticos e sintáticos que subsidiaram em parte a emergência gradual da FL. Afinal, ambas teorias são pertinentes, no entanto:

“Pesquisadores têm adotado posições extremas ou intermediárias em relação a essas questões basicamente independentes, levando a uma ampla variedade de pontos de vista divergentes sobre a evolução da linguagem na literatura atual. Existe, no entanto, um consenso emergente de que, embora humanos e animais compartilhem uma diversidade de recursos computacionais e perceptivos importantes, houve uma remodelação evolutiva substancial desde que divergimos de um ancestral comum há cerca de 6 milhões de anos. O desafio empírico é determinar o que foi herdado inalterado desse ancestral comum, o que foi submetido a pequenas modificações e o que (se houver) é qualitativamente novo. O desafio evolutivo adicional é determinar quais pressões de seleção levaram a mudanças adaptativas ao longo do tempo e entender as várias restrições que canalizaram esse processo evolutivo. Responder a essas perguntas requer um esforço de colaboração entre linguistas, biólogos, psicólogos e antropólogos”⁴⁴⁷ (Ibidem, 2002, p. 1570).

⁴⁴⁶ Trecho original: “[...] might serve as the crucial evolutionary link between non-human and human primates, suggesting a direct step from gesture to language”.

⁴⁴⁷ Trecho original: “Researchers have adopted extreme or in-termediate positions regarding these basically independent questions, leading to a wide variety of divergent viewpoints on the evolution of language in the current literature. There is, however, an emerging consensus that, although humans and animals share a diversity of important computational and perceptual resources, there has been substantial evolutionary remodeling since we diverged from a common ancestor some 6 million years ago. The empirical challenge is to determine what was inherited un-changed from this common ancestor, what has been subjected to minor

Em suma, a concepção científica sobre o surgimento abrupto ou gradual da FL, assim como o aperfeiçoamento dos substratos neurais recrutados para a computação linguística permanece aberto, pois é preciso preencher a lacuna da correlação genética-cérebro-linguagem. Vale concluir com a seguinte reflexão elaborada por Chomsky:

[...] o darwinismo exigia estrita continuidade gradual com o passado – “numerosas, sucessivas, ligeiras modificações” entre nossos ancestrais e nós. No entanto, existe um abismo enorme entre o que podemos fazer e o que os outros animais não podem — a linguagem. E aí reside um mistério. Como acontece com qualquer bom mistério, temos que descobrir o “quem é” — o quê, quem, onde, quando, como e por quê. [...] Resumidamente, nossas próprias respostas às questões de linguagem são as seguintes:

- “O quê” se resume à Propriedade Básica da linguagem humana – a capacidade de construir uma matriz digitalmente infinita de expressões estruturadas hierarquicamente com interpretações determinadas nas interfaces com outros sistemas orgânicos.
- “Quem” somos nós – humanos anatomicamente modernos – nem chimpanzés, nem gorilas, nem pássaros canoros.
- “Onde” e “Quando” apontam para algum tempo entre a primeira aparição de humanos anatomicamente modernos na África Austral há cerca de 200.000 anos, mas antes do último êxodo africano há aproximadamente 60.000 anos (Pagani et al., 2015).
- “Como” é a implementação neural da Propriedade Básica – pouco compreendida, mas evidências empíricas recentes sugerem que isso pode ser compatível com algumas “ligeiras religações do cérebro”, como dissemos em outro lugar.
- “Por quê” é o uso da linguagem para o pensamento interno, como a cola cognitiva que une outros sistemas cognitivos perceptivos e de processamento de informações⁴⁴⁸ (Berwick e Chomsky, 2016, p. 110 – 111, aspas do autor).

modifications, and what (if anything) is qualitatively new. The additional evolutionary challenge is to determine what selectional pressures led to adaptive changes over time and to understand the various constraints that channeled this evolutionary process. Answering these questions requires a collaborative effort among linguists, biologists, psychologists, and anthropologists”.

⁴⁴⁸ Trecho original: “[...] Darwinism demanded strict gradual continuity with the past – “numerous, successive, slight modifications” between our ancestors and us. However, there is a huge gulf

Para concluir a síntese do trabalho de pesquisa construído por Chomsky é necessário descrever e analisar algumas ideias apresentadas no livro “O Programa Minimalista”⁴⁴⁹ (1995), que propõem novas formas de pensar a teoria da gramática gerativa. A respeito do conceito de programa de investigação científica cabe fazer algumas considerações a partir das reflexões do filósofo Imre Lakatos (1922 – 1974)⁴⁵⁰:

“Mesmo a ciência como um todo pode ser considerada como um enorme programa de pesquisa com a regra heurística suprema de Popper: “Elaborar conjecturas que tenham mais conteúdo empírico do que seus predecessores”⁴⁵¹ (Lakatos, 1970, p. 191, aspas do autor).

Nesse sentido, a linguística chomskyana ilustra como um programa de pesquisa nasce a partir de um pressuposto, progride por meio da discussão crítica e prospera pelo embasamento empírico. Basicamente, o recorte epistemológico apresentado nessa tese mostra o caminho percorrido por Chomsky em busca de um objetivo científico, ou seja, pesquisar e conhecer a linguagem humana. A possibilidade de dar continuidade e aperfeiçoar hipóteses, conjecturas, pressupostos ou teorias segundo novas descobertas realizadas com tecnologias inovadoras amadurece o programa de pesquisa de forma regular. No prefácio de comemoração da vigésima edição de aniversário da obra “O programa Minimalista”, Chomsky menciona que:

“É importante reconhecer que o Programa Minimalista (PM) em desenvolvimento neste trabalho, e desde então, é um programa, não uma teoria, fato que muitas vezes tem sido mal interpretado. Em

between what we can do and what other animals cannot—language. And therein lies a mystery. As with any good mystery, we have to figure out the “who is” — what, who, where, when, how and why. [...] Briefly, our own answers to the language questions are as follows: • “What” boils down to the Basic Property of human language – the ability to build a digitally infinite matrix of hierarchically structured expressions with determined interpretations at interfaces with other organic systems. • “Who” are we – anatomically modern humans – not chimpanzees, not gorillas, not songbirds. • “Where” and “When” point to some time between the first appearance of anatomically modern humans in southern Africa around 200,000 years ago, but before the last African exodus around 60,000 years ago (Pagani 2015). • “As” is the neural implementation of the Basic Property – little understood, but recent empirical evidence suggests that this may be compatible with some “slight brain rewiring”, as we have said elsewhere. • “Why” is the use of language for internal thinking, as the cognitive glue that holds other perceptual and information-processing cognitive systems together”.

⁴⁴⁹ Título original: “The Minimalist Program”.

⁴⁵⁰ Imre Lakatos, nascido em 1922, falecido em 1974.

⁴⁵¹ Trecho original: “Even Science as a whole can be regarded as a huge research programme with Popper’s supreme heuristic rule: “Devise conjectures which have more empirical content than their predecessors”.

aspectos centrais, o PM é uma continuação ininterrupta de atividades que remontam às origens da gramática gerativa, mesmo antes do programa geral de biolinguística, como agora é frequentemente chamado, começar a tomar forma na década de 1950⁴⁵² (Chomsky, 2015, p. 7).

Apesar do PM não ser uma teoria, Chomsky assume pressupostos com intuito de antever o crescimento empírico do programa. Por exemplo, a hipótese de que fatores genéticos subsidiam a organização estrutural e funcional da FL no nível neurobiológico é pertinente, apesar da escassez de dados empíricos. Assim como o pressuposto de que existe um módulo cerebral especializado na computação sintática. Chomsky assumiu essa hipótese antes de qualquer fundamentação empírica, no entanto, tal pressuposto vem sendo embasado por meio de novas tecnologias como sugere os trabalhos de Friederici (2017). Segundo Lakatos “A metodologia dos programas de pesquisa - como qualquer outra teoria da racionalidade científica - deve ser complementada pela história empírico-externa⁴⁵³ (1978, p. 114). Ou seja, articulando a pesquisa teórica e empírica o PM progride segundo “o jogo da ciência” Lakatos (1970). Conforme Chomsky o PM funciona da seguinte maneira:

“Primeiro, tentamos submeter as suposições sobre a linguagem a um exame minucioso para ver se são empiricamente justificadas ou se são apenas uma espécie de conveniência técnica, obscurecendo as lacunas de compreensão. Em segundo lugar, quando há qualquer afastamento da perfeição, da naturalidade conceitual em satisfazer condições justas de legibilidade, levantamos um ponto de interrogação e perguntamos se esse afastamento é justificado. Em cada caso, quando uma suposição parece não ser conceitualmente necessária (dadas as condições de legibilidade), o que fazemos é tentar mostrar que há pelo menos uma boa explicação dos fatos empíricos se alguém não fizer essa suposição. De forma mais ambiciosa, podemos tentar mostrar que existe uma explicação ainda melhor se abandonarmos a suposição; isto é, obtemos uma explicação mais profunda e

⁴⁵² Trecho original: “It is important to recognize that the Minimalist Program (MP) under development in this work, and since, is a program, not a theory, a fact that has often been misunderstood. In central respects, MP is a seamless continuation of pursuits that trace back to the origins of generative grammar, even before the general biolinguistics program, as it is now often called, began to take shape in the 1950s”.

⁴⁵³ Trecho original: “The methodology of research programmes - like any other theory of scientific rationality - must be supplemented by empirical-external history”.

abrangente com escopo empírico mais amplo [...]. Esse é o programa”⁴⁵⁴ (Chomsky, 2000a, p. 21).

Vale mencionar que a organização estrutural de um programa de pesquisa deve conter um núcleo e uma heurística (Lakatos, 1970). O núcleo do PM é formado por um conjunto de proposições que configuram seu objeto de estudo, nesse caso, a linguagem é compreendida como um órgão inato da mente/cérebro especializado na aquisição e na computação de informações linguísticas que perpassam pela representação interna do falante. A heurística do PM comporta as diretrizes metodológicas que buscam explicações progressivas dos problemas abordados. Por exemplo, assumindo que a linguagem é um sistema modular inato no cérebro do falante é preciso pesquisar e conhecer seu substrato neurobiológico, assim como os fatores genéticos que pré-determinam a organização estrutural e funcional da FL. Além disso, o núcleo do PM assume que a linguagem é um sistema computacional, portanto é necessário explicar empiricamente a natureza da computação linguística tanto no cérebro quanto na mente. Em suma, o núcleo e a heurística compõem a arquitetura de um programa de investigação científica que “[...] pode transformar a ciência de um mero jogo em um exercício epistemologicamente racional”⁴⁵⁵ (Lakatos, 1978, p. 113). Afinal, na introdução do livro “O programa minimalista”, Chomsky apresenta duas perguntas que aludem a heurística do estado atual do programa:

“Este trabalho é motivado por duas questões relacionadas: (1) quais são as condições gerais que se espera que a faculdade da linguagem humana satisfaça? e (2) até que ponto a faculdade da linguagem é

⁴⁵⁴ Trecho original: “One, we try to subject assumptions about language to very close scrutiny to see if they are empirically justified or are just a kind of technical convenience, obscuring gaps of understanding. Second, when there is any departure from perfection, from conceptual naturalness in satisfying just legibility conditions, we raise a question mark and ask if that departure is justified. In each case, when an assumption looks as though it is not conceptually necessary (given legibility conditions), what we do is to try to show that there is at least as good an account of the empirical facts if one doesn’t make that assumption. More ambitiously, we might try to show that there is even a better account if we drop the assumption; that is, we get a deeper and a more far-reaching explanation with broader empirical scope [...]. That is the programme”.

⁴⁵⁵ Trecho original: “[...] can turn science from a mere game into an epistemologically rational exercise”.

determinada por essas condições, sem uma estrutura especial que esteja além delas?”⁴⁵⁶ (Chomsky, 1995, p. 1).

A primeira questão depende basicamente do conhecimento científico advindo da correlação entre a linguagem e a mente/cérebro, quer dizer, é preciso investigar e compreender quais elementos estruturais e funcionais são responsáveis pelo surgimento da FL. A segunda pergunta depende da resposta obtida pela questão inicial, no entanto, Chomsky assume o pressuposto que a linguagem seja um “sistema perfeito”, ou seja, é capaz de satisfazer os fenômenos complexos e variados das línguas, assim como os princípios de computação interna. Esse posicionamento foi reconhecido como a “Tese Minimalista Forte”⁴⁵⁷ (Chomsky, 1995). Aliás, tal pressuposto lembra o propósito inicial da teoria da gramática gerativa de elaborar uma teoria geral da estrutura linguística que comporte a intuição linguística do falante assim como seu comportamento verbal. Chomsky resume a heurística do PM na seguinte pergunta: [...] “‘Quão ‘perfeita’ é a linguagem?’”⁴⁵⁸ (Ibidem, 1995, p. 203, aspas do autor).

“Se a FL for perfeita, então a GU deve ser reduzido à operação computacional mais simples possível, satisfazendo as condições externas, junto com os princípios de computação mínima (CM) que são independentes da linguagem”⁴⁵⁹ (Ibidem, 1995, p. 9).

Nesse sentido, a perfeição da FL reflete a natureza do órgão mente/cérebro que computa dados linguísticos oriundos do ambiente externo gerando novas informações que perpassam pela representação interna do falante. Em outras palavras, um sistema da linguagem perfeito é determinado pela aplicação estrita de princípios minimalistas capaz de fazer “[...] uso infinito de meios finitos”⁴⁶⁰ (Ibidem, 1995, p. 3). A concepção de “princípios minimalistas” remete a uma ligeira ligação no cérebro decorrente de uma sutil mutação

⁴⁵⁶ Trecho original: “This work is motivated by two related questions: (1) what are the general conditions that the human language faculty should be expected to satisfy? and (2) to what extent is the language faculty determined by these conditions, without special structure that lies beyond them?”.

⁴⁵⁷ Título original: “The Strong Minimalist Thesis”.

⁴⁵⁸ Trecho original: “[...] “How ‘perfect’ is language?”.

⁴⁵⁹ Trecho original: “If FL is perfect, then UG should reduce to the simplest possible computational operation satisfying the external conditions, along with principles of minimal computation (MC) that are language-independent”.

⁴⁶⁰ Trecho original: “[...] infinite use of finite means”.

genética que resultou em um sistema computacional especializado na aquisição e no processamento da linguagem, ou seja, a FL.

É essencial mencionar que o termo linguagem no PM aparece como “Linguagem-I”⁴⁶¹, sendo que a letra (I) corresponde a interno/internalizado, individual e intensional. A organização estrutural e funcional da linguagem-I é atribuída a mente/cérebro do falante. Por outro lado, a “Linguagem-E”⁴⁶², alude ao âmbito externo e extensional. Segundo Chomsky:

“[...] a faculdade da linguagem tem pelo menos dois componentes: um sistema cognitivo que armazena informações e sistemas de desempenho que acessa essas informações e as utiliza de várias maneiras. É o sistema cognitivo que nos interessa principalmente aqui”⁴⁶³ (Ibidem, 1995, p. 2).

Praticamente o conceito de linguagem-I (sistema cognitivo) e linguagem-E (sistema de desempenho) correspondem à concepção de intuição/competência e comportamento verbal/performance nos trabalhos anteriores de Chomsky. Além do mais:

“[...] o sistema cognitivo interage com os sistemas de desempenho por meio de níveis de representação linguística, no sentido técnico dessa noção. Uma suposição mais específica é que o sistema cognitivo interage com apenas dois desses sistemas “externos”: o sistema articulatório-perceptual A-P e o sistema conceitual-intencional C-I. Assim, existem dois *níveis de interface*, Forma Fonética (PF) na interface A-P e Forma Lógica (LF) na interface C-I”⁴⁶⁴ (Ibidem, 1955, p. 2, *aspas, itálico e parênteses do autor*).

Elaboramos o seguinte esquema para ilustrar a citação anterior:

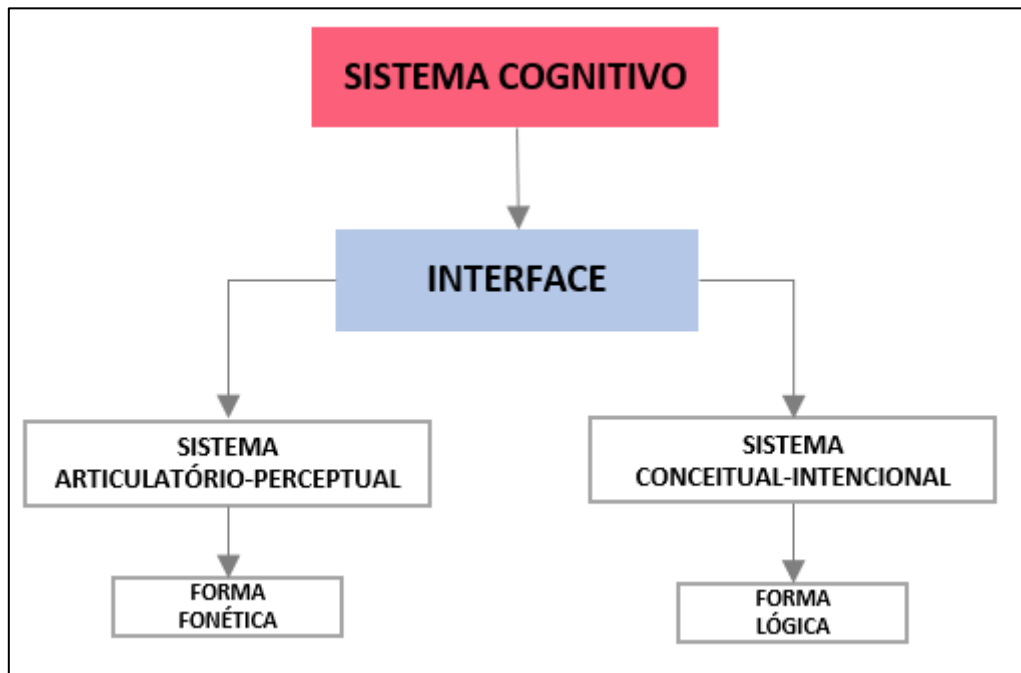
⁴⁶¹ Termo original: “I-Language”.

⁴⁶² Termo original: “E-Language”.

⁴⁶³ Trecho original: “[...] the language faculty has at least two components: a cognitive system that stores information, and performance systems that access that information and use it in various ways. It is the cognitive system that primarily concerns us here”.

⁴⁶⁴ Trecho original: “[...] the cognitive system interacts with the performance systems by means of levels of linguistic representation, in the technical sense of this notion. A more specific assumption is that the cognitive system interacts with just two such “external” systems: the articulatory-perceptual system A-P and the conceptual-intentional system C-I. Accordingly, there are two *interface levels*, Phonetic Form (PF) at the A-P interface and Logical Form (LF) at the C-I interface”.

Figura 68 - Arquitetura da linguagem segundo o Programa Minimalista.



Fonte: Produção do próprio autor. O sistema cognitivo representa o órgão cérebro/mente da linguagem denominado de Linguagem-I que interage com a interface do sistema articulatório-perceptual (A-P) que comporta a forma fonética e com a interface do sistema conceitual-intencional (C-I) que abrange a forma lógica. Ambas interfaces correspondem a Language-E, e computam respectivamente aspectos do som e do significado.

Chomsky também retoma a hipótese de uma estrutura profunda e superficial da linguagem sendo que a primeira “[...] é a interface interna entre o léxico e o sistema computacional”⁴⁶⁵ enquanto a estrutura de superfície ou periférica mapeia a forma fonética e lógica, quer dizer, computa o som e a caracterização semântica dos itens lexicais visíveis no sistema de performance (Ibidem, 1955, p. 171). Chomsky salienta que: “Uma abordagem razoável seria focar a atenção no sistema central, deixando de lado os fenômenos que resultam de acidentes históricos, mistura de dialetos, idiosincrasias pessoais e coisas do gênero”⁴⁶⁶ (Ibidem, 1955, p. 17). Afinal:

“[...] uma linguagem consiste em dois componentes: um léxico e um sistema computacional. O léxico especifica os itens que entram no sistema computacional com suas propriedades idiosincráticas. O sistema computacional utiliza esses elementos para gerar derivações

⁴⁶⁵ Trecho original: “[...] is the internal interface between the lexicon and the computational system”.

⁴⁶⁶ Trecho original: “A reasonable approach would be to focus attention on the core system, putting aside phenomena that result from historical accident, dialect mixture, personal idiosyncrasies, and the like”.

e SDs [descrições estruturais]. A derivação de uma expressão linguística particular, então, envolve uma escolha de itens do léxico e uma computação que constrói o par de representações da interface”⁴⁶⁷ (Ibidem, 1955, p. 154).

Quer dizer, as descrições estruturais comportam uma gama finita de objetos simbólicos que incluem propriedades fonéticas, semânticas e sintáticas observadas em uma cadeia lexical, ou seja, uma *string* de palavras. Enquanto o núcleo cognitivo da linguagem, isto é, o sistema computacional gera um conjunto infinito de descrições estruturais mapeados pelo sistema de performance. Segundo Chomsky, “Exatamente como esses princípios de interação entre os níveis devem ser entendidos não está totalmente claro”⁴⁶⁸ (Ibidem, 1955, p. 120). Aliás:

“Há questões minimalistas, mas não respostas minimalistas específicas. As respostas são o que quer que se descubra pela implementação do programa: talvez algumas das perguntas não tenham respostas interessantes, enquanto outras sejam prematuras. Pode não haver respostas interessantes, porque a linguagem humana é um caso do que o laureado com o prêmio Nobel François Jacob [Nobel de Fisiologia em 1965] uma vez chamou de bricogale; a evolução é oportunista, uma inventora que usa quaisquer utensílios que estejam à mão e neles faz remendos, introduzindo pequenas mudanças para que possam funcionar um pouco melhor do que antes”⁴⁶⁹ (Chomsky, 1998, p. 41).

É importante saber que o sistema computacional é baseado em duas operações, a primeira corresponde a “Juntar” (Merge) e a segunda a “Mover” (Move). Segundo Chomsky (2000a, p. 65) “[...] 'Merge' é a maneira mais simples de dizer que duas coisas se juntam para formar uma coisa maior”⁴⁷⁰. Basicamente, Merge adiciona ou combina dados linguísticos, por exemplo: [α];

⁴⁶⁷ Trecho original: “[...] a language consists of two components: a lexicon and a computational system. The lexicon specifies the items that enter into the computational system, with their idiosyncratic properties. The computational system uses these elements to generate derivations and SDs. The derivation of a particular linguistic expression, then, involves a choice of items from the lexicon and a computation that constructs the pair of interface representations”.

⁴⁶⁸ Trecho original: “Exactly how these principles of interaction among levels should be understood is not entirely clear”.

⁴⁶⁹ Texto original redigido em português.

⁴⁷⁰ Trecho original: “[...] ‘merge is the simplest way I can think of saying that two things come together to make a bigger thing”.

[β] podem aparecer juntos como [α β]. Por outro lado, a operação, Mover, pode deslocar esses elementos já estruturados em uma árvore sintática de diferentes modos. Colocando em outras palavras, enquanto Merge opera com a substituição de componentes linguísticos (adicionar esse ou aquele), a operação de Mover trabalha com a adjunção (nessa sequência ou em outra). Segundo Chomsky “Merge sempre se aplica da forma mais simples possível: na raiz”⁴⁷¹, no entanto, a operação mover é conduzida por regras de verificação morfológica (Ibidem, 1955, p. 227). Portanto, Merge opera na arquitetura interna da GU e Mover na interface externa. Sendo assim, especula-se que a operação Merge seja independente da interface sensório-motora e conceitual-intencional. Afinal, segundo a tese minimalista forte a GU pode ser representada pela seguinte equação: “Interfaces + Merge = Linguagem” (Chomsky, 2010 p. 52).

De acordo com Chomsky as “[...] condições de saída revelam que os itens geralmente aparecem “deslocados” da posição em que a interpretação que recebem é representada na interface FL [forma lógica]”⁴⁷² (Ibidem, 1955, p. 291, aspas do autor). Melhor dizendo, uma sentença é visível em uma estrutura horizontal, ou seja, uma string de palavras serialmente organizada pelo Merge. Vale retomar o exemplo da frase “Instintivamente, águias que voam nadam”, ou seja, apesar da forma lógica aparecer em uma ordem lexical fixa, a interpretação não ocorre simplesmente pela correspondência linear entre as palavras, mas sim, a partir dos fenômenos de concordância gramatical. Portanto, um sintagma se correlaciona com outro a longa distância, isto é, se desatando da ordem sequencial das palavras, de acordo com Chomsky essa é uma propriedade de “deslocamento”, pois, “instintivamente” está associado com o verbo nadar e não com voar. Por fim, Chomsky faz a seguinte questão “[...] quais são os mecanismos de deslocamento e por que eles existem?”⁴⁷³ (Ibidem, 1955, p. 291). Segundo ele, a resposta deve surgir do exame minucioso da “perfeição” do sistema da linguagem que permanece sendo um “[...] misterioso componente da mente humana”⁴⁷⁴ (Ibidem, 1955, p. 349). Afinal:

⁴⁷¹ Trecho original: “Merge always applies in the simplest possible form: at the root”.

⁴⁷² Trecho original: “[...] output conditions reveal that items commonly appear “displaced” from the position in which the interpretation they receive is otherwise represented at the LF interface”.

⁴⁷³ Trecho original: “[...] what are the mechanisms of displacement, and why do they exist?”.

⁴⁷⁴ Trecho original: “[...] mysterious component of the human mind”.

[...] a linguagem é um sistema biológico, e os sistemas biológicos são tipicamente “confusos”, intrincados, o resultado de “consertos” evolutivos e moldados por circunstâncias acidentais e por condições físicas que sustentam sistemas complexos com funções e elementos variados”⁴⁷⁵ (Ibidem, 1955, p. 25 – 26, aspas do autor).

Vale mencionar que após o lançamento do livro “O Programa Minimalista” (1955), as ideias apresentadas foram desenvolvidas em outros trabalhos. Dentre eles o artigo “A Faculdade da Linguagem: O que é. Quem o possui, e como evoluiu?”⁴⁷⁶ (2002), escrito pelo biólogo evolutivo Marc D. Hauser⁴⁷⁷, Noam Chomsky e pelo cientista da cognição W. Tecumseh Fitch⁴⁷⁸. Segundo os autores:

“Argumentamos que uma compreensão da faculdade da linguagem requer cooperação interdisciplinar substancial. Sugerimos como os desenvolvimentos atuais em linguística podem ser combinados de maneira lucrativa com o trabalho em biologia evolutiva, antropologia, psicologia e neurociência. Sugerimos que deve ser feita uma distinção entre a faculdade da linguagem em sentido amplo [faculty of language in the broad sense] (FLB) e em sentido estrito [faculty of language in the narrow sense] (FLN). O FLB inclui um sistema sensorio-motor, um sistema conceitual-intencional e os mecanismos computacionais de recursão, proporcionando a capacidade de gerar uma gama infinita de expressões a partir de um conjunto finito de elementos. Nossa hipótese é que o FLN inclui apenas recursão e é o único componente exclusivamente humano da faculdade da linguagem”⁴⁷⁹ (Hauser, Chomsky, Fitch, 2002, p. 1569, parênteses do autor).

⁴⁷⁵ Trecho original: “[...] language is a biological system, and biological systems typically are “messy,” intricate, the result of evolutionary “tinkering,” and shaped by accidental circumstances and by physical conditions that hold of complex systems with varied functions and elements”.

⁴⁷⁶ Título original: “The Faculty of Language: What Is It. Who Has It, and How Did It Evolve?”.

⁴⁷⁷ Marc D. Hauser, nascido em 1959.

⁴⁷⁸ W. Tecumseh Fitch, nascido em 1959.

⁴⁷⁹ Trecho original: “We argue that an understanding of the faculty of language requires substantial interdisciplinary cooperation. We suggest how current developments in linguistics can be profitably wedded to work in evolutionary biology, anthropology, psychology, and neuroscience. We submit that a distinction should be made between the faculty of language in the broad sense (FLB) and in the narrow sense (FLN). FLB includes a sensory-motor system, a conceptual-intentional system, and the computational mechanisms for recursion, providing the capacity to generate an infinite range of expressions from a finite set of elements. We hypothesize that FLN only includes recursion and is the only uniquely human component of the faculty of language”.

Nesse sentido, a faculdade da linguagem no sentido estrito (FLE) é um componente da faculdade da linguagem no sentido amplo (FLA). A principal diferença decorre que a FLE é o próprio sistema computacional linguístico e independe do sistema sensório-motor e conceitual-intencional que fazem parte da FLA. Portanto, o sistema computacional da FLE representa a sintaxe no sentido estrito “[...] que gera representações internas e as mapeia na interface sensório-motora pelo sistema fonológico e na interface conceitual-intencional pelo sistema semântico (formal)”⁴⁸⁰ (Ibidem, 2002, p. 1571, parênteses do autor). Quer dizer que a sintaxe da FLE computa um conjunto finito de elementos linguísticos em um volume potencialmente infinito de expressões que aparecem na interface da FLA. Aliás, o mecanismo computacional da FLE “[...] evoluiu recentemente e é exclusivo da nossa espécie”⁴⁸¹ (Ibidem, 2002, p. 1573). Por outro lado, os componentes estruturais e funcionais da FLA, isto é, o sistema sensório-motor e conceitual-intencional apesar de serem mecanismos homólogos à comunicação animal, foram adaptados para a linguagem humana. Sendo assim, “O FLA como um todo tem, portanto, uma história evolutiva antiga, por muito tempo antes do surgimento da linguagem”⁴⁸² (Ibidem, 2002, p. 1573).
Afinal:

“Os dados comparativos disponíveis sobre sistemas de comunicação animal sugerem que a faculdade de linguagem como um todo depende de algumas capacidades exclusivas humanas que evoluíram recentemente nos aproximadamente 6 milhões de anos desde a nossa divergência de um ancestral comum do tipo chimpanzé”⁴⁸³ (Ibidem, 2002, p. 1573).

Segundo os autores, a hipótese de que a FLA existia antes do surgimento da FLE pode ter estabelecido restrições neurais/computacionais que forneceram uma solução ideal, ou melhor, “perfeita” para satisfazer a diversidade de

⁴⁸⁰ Trecho original: “[...] that generates internal representations and maps them into the sensory-motor interface by the phonological system, and into the conceptual-intentional interface by the (formal) semantic system”.

⁴⁸¹ Trecho original: “[...] recently evolved and unique to our species”.

⁴⁸² Trecho original: “FLB as a whole thus has an ancient evolutionary history, long predating the emergence of language”.

⁴⁸³ Trecho original: “The available comparative data on animal communication systems suggest that the faculty of language as a whole relies on some uniquely human capacities that have evolved recently in the approximately 6 million years since our divergence from a chimpanzee-like common ancestor”.

informações computadas pelos componentes da FLA. Nesse sentido, o órgão da linguagem foi implementado corticalmente e restringido “[...] por fatores biofísicos, de desenvolvimento e computacionais compartilhados com outros vertebrados”⁴⁸⁴ (Ibidem, 2002, p. 1574). Portanto, os pesquisadores consideram “[...] a possibilidade de que certos aspectos específicos da faculdade da linguagem [ampla] sejam “spandrels” - produtos de restrições preexistentes em vez de produtos finais de histórico de seleção natural”⁴⁸⁵ (Ibidem, 2002, p. 1574). Os autores citam a correlação entre o sistema sensorio-motor dos humanos com os animais. Por exemplo, a descendência da laringe humana é constatada em outros animais, porém não desempenha funções fonéticas. Além disso, a capacidade de imitação vocal em humanos é observada em outras espécies como golfinhos, papagaios e símios, no entanto a evolução dessa habilidade parece ter se restringido aos seres humanos. Vale mencionar que os pesquisadores citam a existência dos NE tanto no córtex cerebral de humanos quanto em símios para ilustrar um substrato neurobiológico comum, porém salientam que essa classe de neurônios não é suficiente para computar a capacidade de imitação em primatas não humanos. Mesmo assim, os autores sugerem que é necessário pesquisar e conhecer quais são os correlatos neurais necessários e suficientes para computar as informações que subjazem a habilidade de imitar tanto em humanos quanto em animais. Segundo Hauser, Chomsky e Fitch:

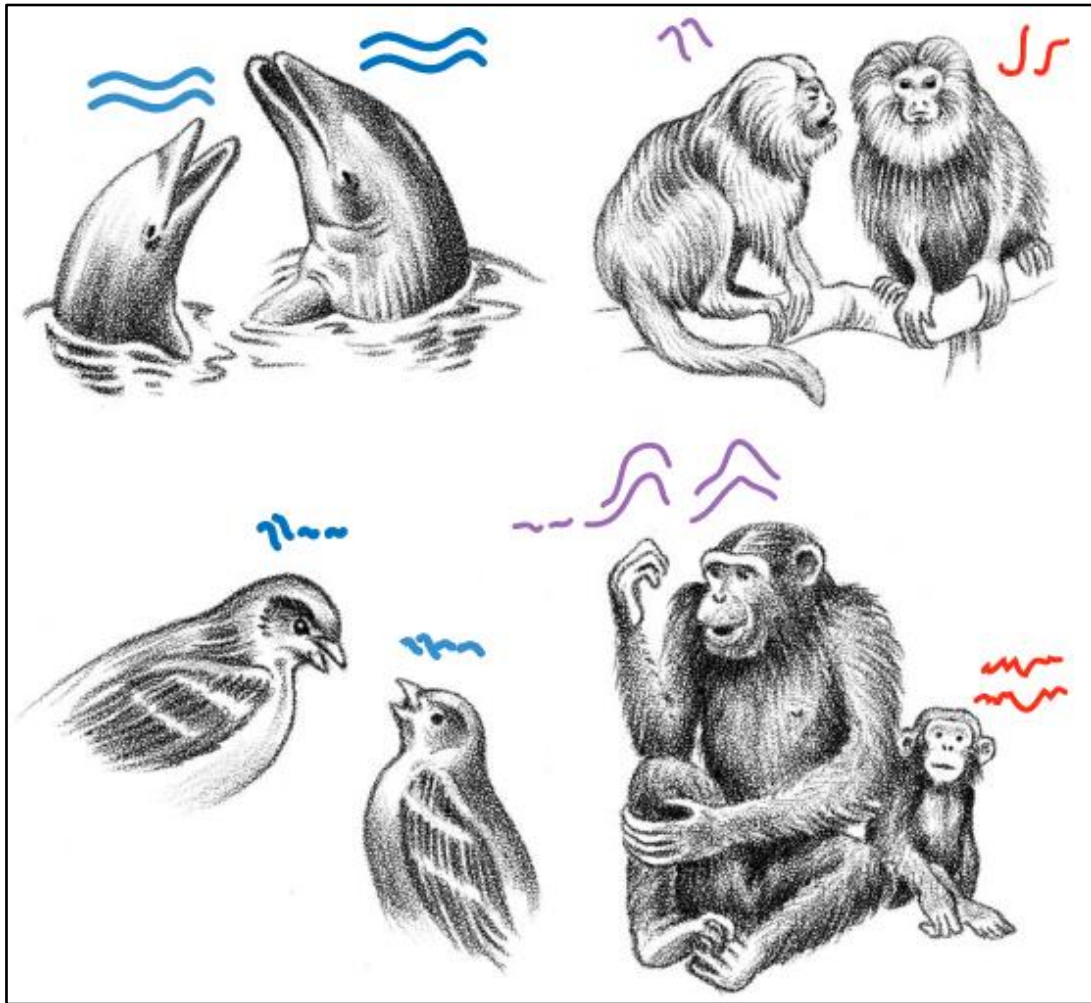
“Isso é especialmente importante, dado que algumas tentativas recentes de modelar a evolução da linguagem começam com um organismo hipotético que está equipado com a capacidade de imitação e intencionalidade, em vez de descobrir como esses mecanismos evoluíram em primeiro lugar”⁴⁸⁶ (Ibidem, 2002, p. 1575).

⁴⁸⁴ Trecho original: “[...] by biophysical, developmental, and computational factors shared with other vertebrates”.

⁴⁸⁵ Trecho original: “[...] the possibility that certain specific aspects of the faculty of language are “spandrels” — by products of preexisting constraints rather than end products of a history of natural selection”.

⁴⁸⁶ Trecho original: “This is especially important, given that some recent attempts to model the evolution of language begin with a hypothetical organism that is equipped with the capacity for imitation and intentionality, as opposed to working out how these mechanisms evolved in the first place”.

Figura 69 - Imitação comunicativa em animais.



Fonte: Hauser, Chomsky, Fitch, (2002, p. 1575). A capacidade de imitar sons acústicos no reino animal é irregular, ou seja, enquanto alguns animais como pássaros canoros, golfinhos e humanos desenvolveram essa habilidade, outros animais como símios tiveram seus sistemas de imitação vocal estagnados em uma forma relativamente empobrecida.

Além disso, os autores sugerem que o sistema conceitual-intencional também pode ser notado em animais. Por exemplo, o conjunto de sinais acústicos ou motores empregados para comunicar a descoberta de um alimento ou a presença de um predador revela que mesmo tendo um sistema de comunicação fixo, ou seja, pré-determinado ecologicamente para funções vitais, alguns animais como os símios dispõem de um sistema conceitual-intencional rústico. No entanto, os pesquisadores salientam que é necessário provas robustas de que esse componente de FLA também não seja exclusivamente humano. Em suma, as hipóteses apresentadas remetem à concepção evolutiva de continuidade da FLA, ou seja, os sistemas sensório-motor e conceitual-intencional já compunham os sistemas comunicativos em animais, no entanto

foram adaptados para a FL humana. Entretanto, a principal diferença entre o sistema de comunicação dos animais e a linguagem humana decorre da capacidade recursiva da FLE, por isso, os autores assumem a noção de descontinuidade evolutiva. Quer dizer, o sistema computacional da linguagem, ou seja, a sintaxe no sentido estrito surgiu em uma janela de tempo relativamente curta. Logo, a emergência da FLE foi abrupta. No livro “Linguagens impossíveis”⁴⁸⁷ (2016), o linguista e neurocientista italiano Andrea Moro faz o seguinte comentário:

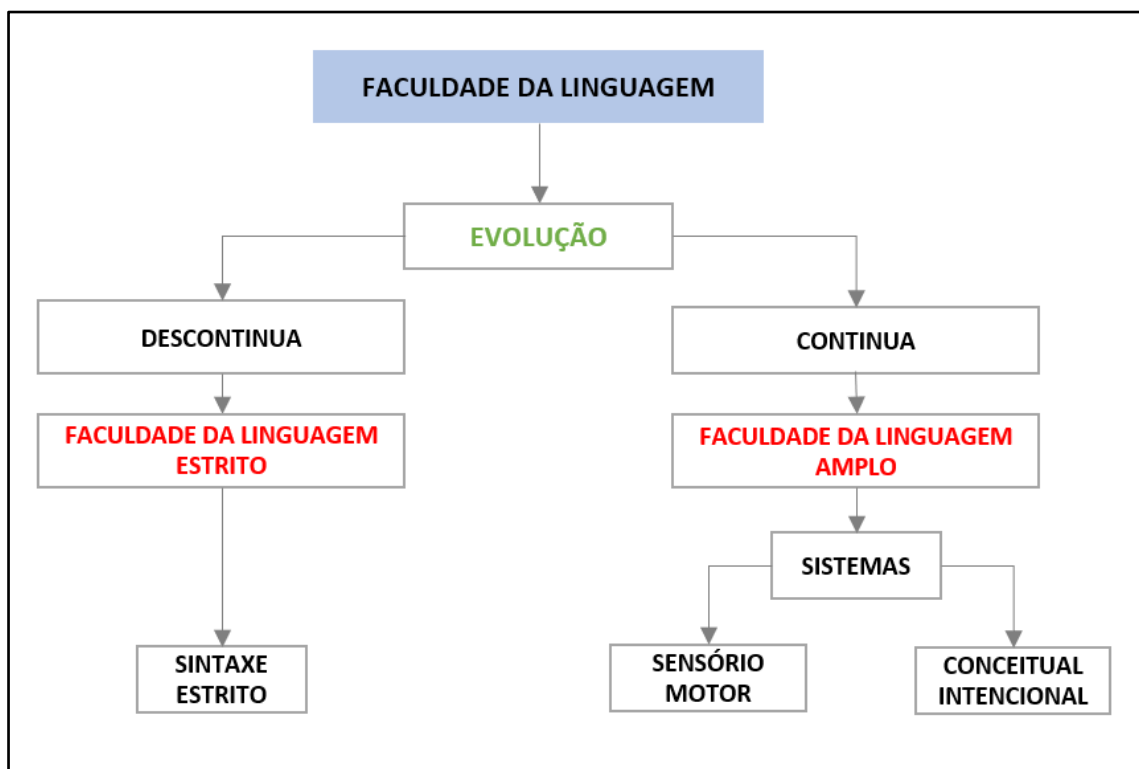
“O que é crucial, ao contrário, é que os humanos são os únicos animais que podem recombinar elementos discretos (palavras, que obviamente incluem elementos simbólicos) de forma a fornecer um novo significado, dependendo de como a combinação é feita. Qualquer falante de inglês solicitado a combinar três palavras, como Abel, Caim e morto, pode combiná-las para produzir Caim matou Abel e Abel matou Caim. Essas são duas sentenças com significados opostos - em outras palavras, condições de valor de verdade (as condições do mundo que tornam a declaração de uma sentença verdadeira ou falsa). Mesmas palavras, posições diferentes, significados diferentes: a sintaxe é a impressão digital de toda linguagem humana, e somente as línguas humanas trazem essa impressão digital”⁴⁸⁸ (Moro, 2016, p. 7 – 8, parênteses do autor).

Elaboramos o seguinte esquema para ilustrar as ideias anteriores:

⁴⁸⁷ Título original: “Impossible languages”.

⁴⁸⁸ Trecho original: “What is crucial, instead, is that humans are the only animals that can recombine discrete elements (words, which obviously include symbolic elements) in such a way as to provide new meaning, depending on how the combination is made. Any English speaker asked to combine three words such as Abel, Cain, and killed can combine them to produce Cain killed Abel and Abel killed Cain. These are two sentences with opposite meanings—in other words, truth-value conditions (the conditions of the world that make a declarative statement true or false). Same words, different positions, different meanings: syntax is the fingerprint of every human language, and only human languages bear this fingerprint”.

Figura 70 - Esquema geral da Faculdade da Linguagem.



Fonte: Produção do próprio autor. No programa minimalista a FL é segmentada com base em hipóteses evolutivas, assim como em suas organizações estruturais e funcionais. A evolução descontinua representa o surgimento abrupto da FL no sentido estrito, também chamada de Linguagem-I. Sua emergência decorreu de uma mutação genética que reconfigurou a organização estrutural e funcional do módulo da linguagem no cérebro/mente do falante, propiciando a computação sintática no sentido estrito, ou seja, a capacidade de gerar e representar internamente um número limitado de informações linguísticas em um volume possivelmente ilimitado. A evolução contínua equivale a um processo gradual de adaptação dos sistemas de comunicação dos animais, ou seja, da faculdade da linguagem no sentido amplo comporta os sistemas sensório-motor e conceitual-intencional para a FL como um todo.

Tendo em vista os conteúdos pesquisados e analisados nesse capítulo resumizamos as principais ideias da seguinte forma:

- a) O estudo sobre a natureza estrutural e funcional da linguagem remonta às reflexões filosóficas de Platão, Aristóteles e Descartes, além de intelectuais e pesquisadores como Galileo Galilei, Charles Darwin e Humboldt que constataram o caráter criativo do uso da linguagem. Quer dizer, a capacidade funcional de gerar um número possivelmente ilimitado de frases, orações ou sentenças mesmo tendo recebido estímulos linguísticos pobres durante a fase de aquisição e aprendizagem.

- b) A primeira revolução cognitiva marca a concepção internalista/nativista dos processos comportamentais e cognitivos do qual inclui a linguagem. Chomsky assume a hipótese de que existe um dispositivo da mente/cérebro do falante que é inato, portanto, especializado na aquisição e no processamento da linguagem. A segunda revolução cognitiva traduz a visão externalista/behaviorista das pesquisas científicas que objetivam explicar os mecanismos funcionais da aprendizagem e do comportamento a partir de experimentos embasados na metodologia do estímulo, reforço e resposta. Skinner realizou testes empíricos sobre o comportamento verbal que salientou o caráter pragmático da língua.
- c) O dispositivo de aquisição da linguagem apresenta um cronograma de maturação neurobiológico que reflete o período crítico e sensível do cérebro. Mesmo que um falante receba pouco estímulo linguístico durante a fase da aquisição e da aprendizagem os substratos neurais seguem uma programação genética de desenvolvimento que pode ser potencializado pela experiência linguística do falante.
- d) A teoria da descontinuidade evolutiva sugere que a linguagem surgiu de forma abrupta devido uma mutação genética que reconfigurou o arranjo estrutural e funcional dos substratos neurais da linguagem. A teoria da continuidade pressupõe um aperfeiçoamento gradual das bases neurobiológicas do sistema de comunicação dos animais que serviu como molde para o surgimento da cognição linguística.
- e) O programa de pesquisa construído por Chomsky passou por diversas alterações desde sua origem, porém o núcleo permanece inalterado. O programa assume em seu núcleo que a linguagem é um órgão da mente/cérebro do falante que surgiu mediante uma ligeira mutação genética que resultou em substratos neurais especializados na aquisição e no processamento de informações linguísticas. A heurística do programa testa a validade do núcleo conforme o avanço tecnológico de ferramentas empíricas.

- f) O estado inicial da FL na mente/cérebro do falante é chamado de GU. Sua organização estrutural e funcional é pré-definida por fatores genéticos específicos da espécie humana. O desenvolvimento neurocognitivo da GU é influenciado pelo curso da experiência linguística do falante que vai moldar a FL. GU/FL aludem a sistemas computacionais especializados na linguagem, apesar de não estar claro como os dados linguísticos são computados na mente/cérebro do falante.
- g) A operação Merge combina informações linguísticas. O sistema computacional da sintaxe/Merge ocorre em redes neurais especializadas no arranjo estrutural de sentenças. Os substratos neurais da subárea de Broca (BA 44), ficam eletricamente ativos durante a formação de *string* de palavras. A principal diferença entre a linguagem humana e o sistema de comunicação dos animais que é composto pela interface sensório-motor e conceitual-intencional é a operação Merge.

CAPÍTULO 7 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Até o momento pesquisamos, descrevemos e examinamos em grande parte o conhecimento teórico e empírico sobre a organização estrutural e funcional dos NE localizados na área 6 (setor F5) no córtex pré-motor de primatas não humanos. Também conhecemos as hipóteses sugeridas pelo grupo de Parma de que essa área é homologa a região de Broca no córtex cerebral humano. Além da premissa de que os NE gradualmente evoluíram estruturalmente e funcionalmente do sistema de comunicação manual e orofacial em símios para a FL em humanos. A ideia geral propõe que os NE computam informações linguísticas dos componentes fonéticos, semânticos e sintáticos. O objetivo desse capítulo é conhecer o estado da arte sobre a correlação entre os NE e a linguagem a partir da revisão sistemática da literatura. Para isso, o capítulo está organizado em subtópicos que seguem a metodologia aplicada para a construção da revisão.

7.1 - Objetivo:

Revisar de forma sistemática os trabalhos empíricos apresentados em artigos originais sobre o sistema de NE no córtex humano e sua correlação com a fonética, semântica e sintaxe.

7.2 - Justificativa:

A razão que justifica a realização da revisão decorre do interesse em aproximar a pesquisa empírica da neurociência da linguagem com a teoria linguística de Chomsky. O motivo principal é conhecer como esses campos de pesquisas se aproximam e são co-interpretados. Em outras palavras, como correlacionar dados empíricos sobre os NE com os componentes fonético, semântico e sintático da FL.

7.3 - Questões da pesquisa:

A revisão sistemática da literatura sobre os NE e a linguagem tem como objetivo responder as seguintes perguntas:

1. Quais processos da linguagem são correlacionados com a ativação do sistema de NE?
2. Quais técnicas empíricas evidenciam a correlação entre o sistema de NE e o processamento da linguagem?
3. Onde estão localizadas as células com características de NE mediante o processamento da linguagem?
4. Qual é o tempo de disparo dos circuitos de NE frente a codificação de informações linguísticas?
5. Por que os circuitos de NE são associados com o processamento de informações linguísticas? Existe um argumento comum entre os trabalhos?
6. Quais problemas empíricos e teóricos emergem da correlação entre a pesquisa experimental sobre os NE com conceitos teóricos do programa linguístico de Chomsky?

7.4 - Palavras-chave

Para encontrar as palavras-chave que formaram a *string* de busca da revisão foi realizado uma pesquisa nos tesouros: MeSH (Medical Subject Headings) e APA (American Psychological Association). Cinco termos foram pesquisados em cada sistema. A pesquisa foi realizada em: 18/07/2019.

Portal: MeSH: <https://meshb.nlm.nih.gov/search>

1. MeSH Heading: Mirror Neurons (Unique ID D059167)
2. MeSH Heading: Language (Unique ID D007802)
3. MeSH Heading: Phonetics (Unique ID D010700)
4. MeSH Heading: Semantics (Unique ID D012660)

Os descritores (Syntax e Grammar) foram pesquisados separadamente, mas não foram encontrados no MeSH.

Portal: APA: <https://psycnet.apa.org/thesaurus>

1. Mirror Neurons
2. Language
3. Phonetics (Broader term Phonology)
4. Semantics (Broader term Grammar)
5. Syntax (Broader term Grammar)

Com base nos resultados encontrados nos sistemas MeSH e APA, as palavras-chave definidas foram: Mirror Neurons; Language; Phonetics; Semantics; Syntax; Grammar.

7.5 - String de busca

Tendo em vista as variações do termo “Mirror neurons”, como: “Mirror neurons system”, “Mirror-neurons” e “Mirror neuron” no singular, foi utilizado o operador de truncagem asterisco (*) sobre “Mirror neurons*”, recuperando assim todas as variações do termo nas plataformas de pesquisas. Os outros termos que compõe a *string* não tiveram nenhuma alteração, pois são padronizados. Do ponto de vista técnico da revisão é importante informar que a mesma *string* foi utilizada nas diferentes bases de dados, assim como a busca foi realizada no campo “All Fields” em cada base. Portanto, a *string* de busca utilizada para a revisão foi: "Mirror Neuron*" (Language OR Phonetics OR Semantics OR Syntax OR Grammar).

7.6 - Acesso e critério de seleção das bases de dados

As bases de dados foram acessadas a partir do Portal de Periódicos Capes que apresentou o conteúdo completo de cada portal. A *string* de busca:

"Mirror Neuron*" (Language OR Phonetics OR Semantics OR Syntax OR Grammar), foi testada em diferentes bases. Os portais que apresentaram o maior número de resultados e pertinência ao tema da pesquisa foram selecionados. No total foram escolhidos cinco bases de dados para realizar a revisão sistemática.

7.7 - Bases de dados

PubMed: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

Scopus: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>

PsycNET: <https://psycnet.apa.org/>

Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/>

Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

7.8 - Critérios de inclusão e exclusão

Foram definidos cinco critérios de inclusão:

1. Artigos publicados no período de 01/01/1996 a 31/12/2019. A data inicial foi definida com base na publicação seminal sobre a descoberta dos NE realizado por Galesse et al., (1996) e Rizzolatti et al., (1996).
2. Artigos redigidos em inglês.
3. Artigos exclusivamente empíricos.
4. Artigos que recrutam apenas a participação de humanos.
5. Artigos que tratam de três componentes específicos da linguagem: fonética, semântica e sintaxe.

Ao longo do desenvolvimento da revisão foram acrescentados no critério de exclusão diversos tipos de estudos que não interessavam à pesquisa, mas que apareceram nos resultados das buscas. A adição de novos critérios de

exclusão permitiu uma seleção mais apurada dos trabalhos. No total foram sete os critérios de exclusão:

1. Artigos que trabalham com a população de primatas não humanos ou robôs.
2. Artigos relacionados ao transtorno do espectro autista e população de surdos.
3. Artigos que não utilizam técnicas empíricas, ou seja, trabalhos teóricos ou filosóficos.
4. Artigos que pesquisam a origem e a evolução da linguagem, assim como a linguagem manual e a aprendizagem por imitação manual ou orofacial em recém-nascidos.
5. Artigos que examinam distúrbios neurológicos como Alzheimer, Parkinson e gagueira.
6. Artigos que pesquisam a correlação entre os NE e a imitação da ação, modelagem computacional (modelagem de redes neurais), modelos matemáticos, música, psicanálise, manifestação emocional e bocejo.
7. Artigos que examinam o funcionamento do córtex motor como um todo, ou seja, não investigam especificamente os NE.

7.9 - Seleção preliminar

O primeiro passo após a elaboração do protocolo de condução da revisão sistemática foi executar a *string* de busca nas cinco bases de dados. A pesquisa em todas as bases foi realizada no dia 01/08/2019 e os resultados foram importados para a ferramenta *Start* v. 3.3 Beta (State of the Art through Systematic Review), desenvolvida pelo LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. O programa se encontra disponível em http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool (acessado em 15 dez. 2022).

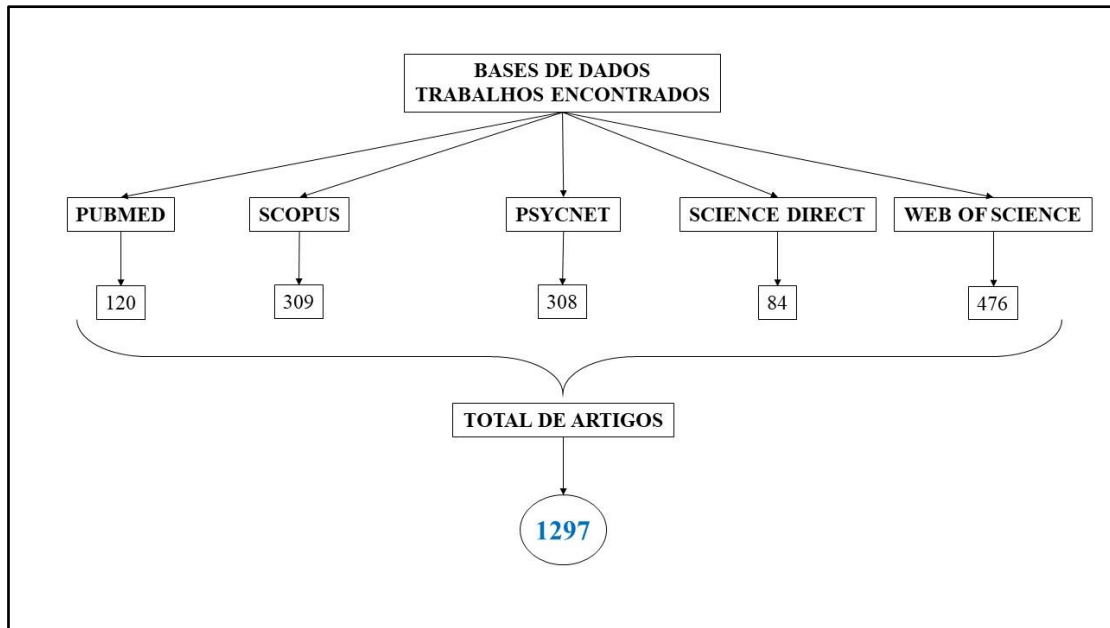
No total foram importados 1297 artigos de todas as bases para a ferramenta *Start*. Uma das facilidades da ferramenta é a remoção automática de artigos duplicados, ou seja, trabalhos que apareceram em mais de uma base de dados. É importante mencionar que a *Start* não apresenta um filtro preciso para os artigos que se repetem. Portanto, alguns trabalhos foram classificados manualmente como duplicados. Nesta fase foram removidos 160 artigos do montante inicial de 1297, ou seja, a primeira triagem contou com 1137 trabalhos. A primeira seleção foi realizada a partir da leitura do título e do resumo de cada artigo seguido da avaliação dos requisitos estabelecidos pelos critérios de inclusão e exclusão. A primeira triagem foi concluída em 03/09/2019. Os resultados foram: 670 artigos aceitos e 467 rejeitados.

7.10 - Seleção final e extração dos dados

O processo de seleção final ou segunda triagem consistiu na leitura completa dos 670 artigos aceitos ao final do processo de seleção preliminar. Os trabalhos foram avaliados segundo os mesmos critérios de inclusão e exclusão aplicados na primeira triagem. A seleção final foi concluída em 22/12/2019 e apresentou os seguintes resultados: 14 artigos aceitos, 622 rejeitados e 34 classificados manualmente como duplicados.

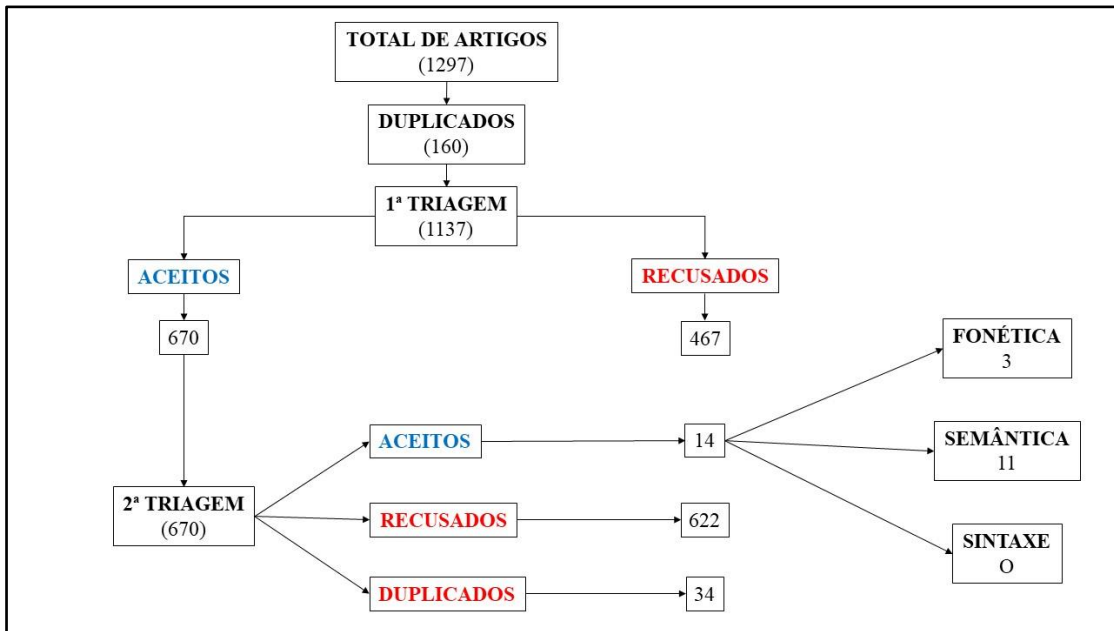
7.11 - Fluxogramas, gráficos e tabelas

Figura 71 - Fluxograma das bases de dados e seus resultados.



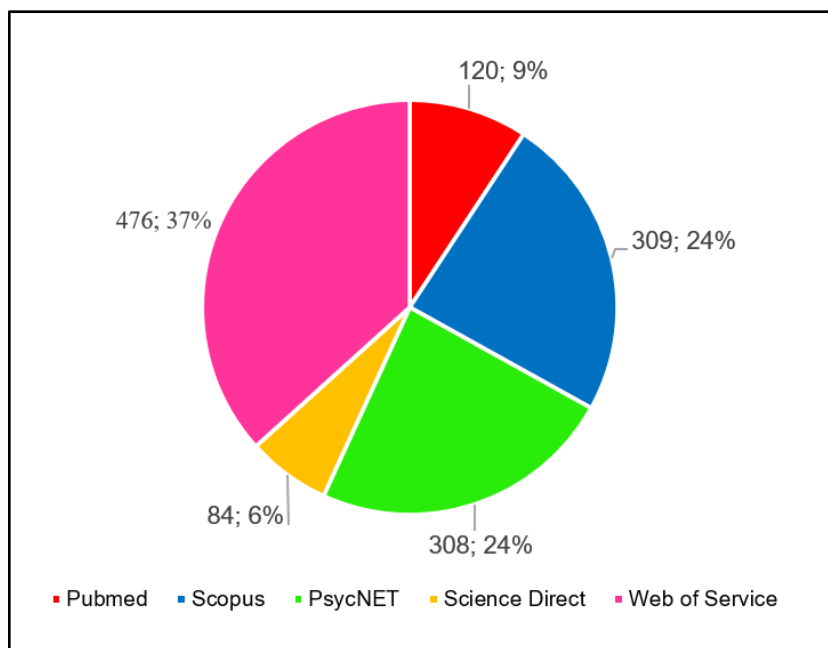
Fonte: Produção do próprio autor. As bases de dados foram selecionadas de acordo com o maior número de resultados e pertinência ao tema da pesquisa.

Figura 72 - Fluxograma dos resultados da primeira e segunda triagem.



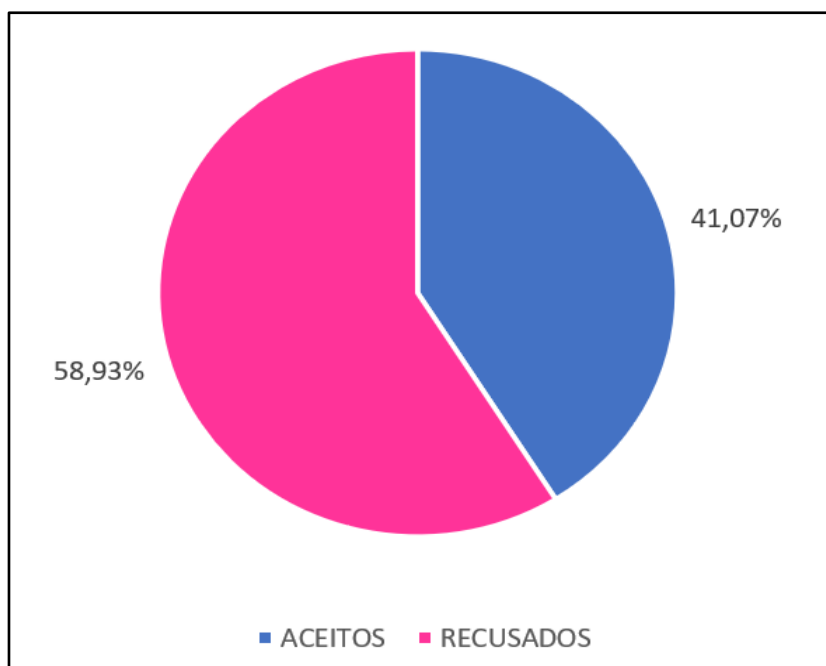
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 73 – Gráfico de pizza ilustrando o conjunto de 1297 artigos encontrados nas cinco bases de dados.



Fonte: Produção do próprio autor. Cada base de dados mostra o número de trabalhos encontrados e sua parcela percentual.

Figura 74 - Representação em pizza da primeira triagem.



Fonte: Produção do próprio autor. Foram examinados na primeira triagem 1137 artigos. Dentre esses 670 foram aceitos, isto é, 58,93%, enquanto 467 trabalhos foram recusados, ou seja, 41,07%.

Figura 75 - Representação em pizza da segunda triagem.



Fonte: Produção do próprio autor. Foram examinados na segunda triagem 670 artigos. Dentre esses, 14 foram aceitos, ou seja, 2,09%. Outros 622 trabalhos foram recusados e corresponde a 92,84%. Por fim, 34 artigos eram duplicados, isto é, 5,08%.

7.12 - Técnicas utilizadas

Dentre os quatorze artigos selecionados nove trabalhos empregaram a técnica da Imagem por Ressonância Magnética Funcional – fMRI. Dois artigos usaram a Estimulação Magnética Transcraniana – EMT. Apenas um trabalho recorreu a Eletroencefalografia - EEG. Além das técnicas, dois artigos examinaram pacientes com lesão cerebral em áreas contendo NE. Vale descrever de modo geral algumas informações sobre cada técnica.

7.13 - Ressonância magnética funcional – fMRI

A fMRI é uma das técnicas mais populares aplicadas nas pesquisas sobre o funcionamento do SNC em indivíduos saudáveis ou com algum distúrbio neurológico. Os dados coletados pelo sinal da fMRI correspondem ao aumento ou diminuição do fluxo sanguíneo no cérebro (Cerebral Blood Volume – CBV) e da dependência do nível de oxigenação (Blood Oxygenation Level Dependet – BOLD) nas regiões onde a taxa de disparo neural foi alterada (Sturzbecher,

2011). A atividade elétrica dos neurônios é interpretada através do sinal BOLD que é representada em uma imagem computadorizada formada por voxels, ou seja, pixels volumétricos que correspondem as regiões neuroanatômicas onde houve alterações no nível de oxigênio. Uma das vantagens da fMRI é sua alta capacidade de resolução espacial que está na ordem de milímetros cúbicos (mm³). No entanto, devido a fatores técnicos como a taxa de aquisição dos volumes cerebrais, além de aspectos fisiológicos como a resposta hemodinâmica relativamente lenta, sua resolução temporal está na faixa dos segundos.

7.14 - Eletroencefalografia – EEG

A EEG é uma técnica não invasiva utilizada para monitorar a atividade elétrica do SNC em indivíduos saudáveis ou com algum distúrbio neurológico. O procedimento consiste na colocação de eletrodos no escalpo cabeludo do paciente para captar o campo magnético de atividades neurais. Os eletrodos detectam ondas cumulativas de uma área específica ou do cérebro como um todo. As correntes elétricas são amplificadas e representadas em forma de gráficos que permitem a interpretação dos dados. Um dos principais benefícios da técnica é sua resolução temporal de milissegundos que possibilita acompanhar sincronicamente o comportamento de populações neurais. No entanto, a técnica não permite localizar com precisão milimétrica a fonte das ondas. Uma outra facilidade do EEG é sua aplicação que pode ser realizada fora do ambiente clínico ou laboratorial.

7.15 - Estimulação magnética transcraniana - EMT

O aparelho da EMT é composto por capacitores de armazenamento, um alternador de carga e circuitos que modelam a forma do pulso elétrico emitido por uma bobina em forma de borboleta (Müller et al., 2013). A bobina é posicionada em uma determinada região do escalpo cabeludo onde é gerado um campo eletromagnético que atravessa o crânio do paciente excitando ou inibindo

uma área cortical. O efeito depende de fatores como a intensidade do estímulo, o posicionamento da bobina e a variação temporal do campo magnético. Uma das vantagens da EMT é sua precisão temporal em medir a condução das ondas elétricas, ou seja, o aparelho permite captar e registrar o comportamento elétrico de populações neurais. Apesar disso, a EMT não possui uma precisão espacial para a aplicação do estímulo excitatório ou inibitório, pois a onda aplicada tende a se estender para regiões vizinhas a área de interesse.

7.16 - Processos da linguagem

Em um conjunto de 1297 artigos rastreados nas cinco bases de dados, 670 foram aceitos para triagem final que resultou em 14 trabalhos selecionados. Dentre esses, 3 examinaram o processamento da fonética, 11 analisaram a semântica e nenhum artigo abordou a correlação entre os NE e a sintaxe. Cabe sumarizar as principais conclusões.

Três trabalhos examinaram o componente fonético. O trabalho de Restle et al., 2012, utilizou a TMS para examinar o tempo de disparo neural mediante a repetição de frases lidas de um poema japonês. Os autores pesquisaram como o processamento fonológico é integrado ao sistema sensorio-motor através de palavras relacionadas a membros corpóreos e como a estimulação do sistema de NE pode melhorar a capacidade da leitura com base na repetição. O trabalho sugere que a estimulação do sítio cortical onde estão enterrados os NE causa uma facilitação no exercício da repetição da fala que parece vinculado a tradução da percepção fonológica em programas neuromotores. O segundo trabalho produzido por Rogalsky et al., 2011, mediu as habilidades de percepção da fala em pacientes com lesão em áreas corticais associadas ao sistema de NE. Os participantes fizeram diferentes testes de compreensão de palavras e discriminação de sílabas através de sons e imagens. Os autores concluem que o sistema de NE não está correlacionado com a percepção da fala, portanto, o resultado diverge das hipóteses sugeridas por Liberman e colaboradores (1967); Liberman e Mattingly (1985) que segundo a teoria motora da percepção e produção da fala existem programas neuromotores que comportam os sinais da

fala em gestos articulatórios. Essa teoria foi examinada no capítulo 3. Por fim, o estudo de Jardri et al., 2007, empregou a técnica da fMRI para examinar a correlação entre a ativação do sistema de NE e a percepção auditiva da fala. O artigo sugere que essas células neurais são ativadas quando se escuta passivamente conteúdos linguísticos, ou seja, quando estímulos sonoros que incluem informações fonéticas, semânticas e prosódicas entram no córtex do receptor. Segundo os autores, a aprendizagem fonológica de uma língua estrangeira recruta a representação sensorio motora de sistemas semelhantes aos NE. O artigo menciona que o resultado está de acordo com a teoria motora da percepção da fala.

Onze trabalhos examinaram a correlação entre a ativação do sistema de NE e o processamento semântico. O artigo de Galati e colaboradores (2008), utilizou a fMRI para examinar as áreas corticais ativadas durante a visualização ou audição de palavras e frases com sentido de ações como bater palmas, rasgar um papel ou estalar os dedos. Os autores concluíram que o sistema de NE codifica a representação semântica da ação. Vale lembrar da teoria da semântica incorporada que reconhece que o conteúdo semântico de uma palavra recruta os substratos neurobiológicos dos sistemas sensoriais e/ou motores de acordo com o sentido da palavra. Portanto, o sistema sensorial tende a ser recrutado mediante palavras como azul, azedo, buzina ou áspero. Enquanto termos que dizem respeito a movimentos corporais como abrir a mão ou levantar a perna, além de palavras relacionadas a partes do corpo como mão, pé ou cabeça, ativam os programas neuromotores do córtex. Além disso, a teoria da semântica incorporada assume que o sentido de uma palavra é simulado no córtex cerebral do emissor e do receptor. A simulação ocorre devido ao espelhamento entre topografias corticais semelhantes entre os córtices em interação. Basicamente, os NE são recrutados mediante o processamento de conteúdos semânticos relacionados a partes do corpo, ações motoras ou percepções sensoriais. As representações topográficas de informações semânticas processadas pelo sistema de NE permitem reconhecer o sentido de um objeto, uma ação ou de um som natural ou linguístico. Essa teoria foi examinada no capítulo 4. O trabalho de Horoufchin e colaboradores (2019), empregou a fMRI para investigar o comportamento do sistema sensorio-motor

do qual inclui o sistema de NE mediante o processamento de substantivos, objetos e verbos de ação. Os autores sugerem que o estudo está em consonância com as hipóteses da semântica incorporada. O artigo de Aziz-Zadeh e colaboradores (2006), também utilizou a técnica da fMRI para examinar os correlatos neurais de ações observadas, assim como de frases lidas sobre ações realizadas com o pé, mãos ou boca. Os pesquisadores concluem que áreas sensório-motoras contendo NE são invocadas mediante o processamento linguístico de informações semânticas. A pesquisa realizada por Pulvermüller e colaboradores (2009), empregou a fMRI para identificar as áreas corticais ativadas durante o processamento de palavras de ação relacionadas ao rosto, braços e pernas. O trabalho aponta que o sistema sensório-motor incluindo o circuito de NE é ativado de maneira somatotópica. Além disso, diferentes categorias semânticas são processadas em redes neurais de acordo com as características lexicais. O artigo de Kana e colaboradores (2012), também recorreu a fMRI para examinar como verbos que descrevem estados mentais como enganar ou persuadir, assim como verbos de ação como socar ou chutar ativam regiões sensório motoras que contém células com características de NE. Os pesquisadores sugerem que os verbos de ação recrutam áreas de acordo com o conteúdo semântico da palavra, porém verbos com conteúdo abstrato excitam regiões orbito frontais do lado esquerdo, assim como áreas pré-cúneas, ou seja, porções do lóbulo parietal superior também localizadas no hemisfério esquerdo. O trabalho de Buccino e colaboradores (2005), empregou a técnica da TMS no córtex sensório motor dos participantes durante a audição de frases de ação com as mãos e com o pé. Também foi registrado os potenciais motores evocados (MEPs) dos músculos desses membros. Os autores concluíram que o processamento semântico de diferentes palavras recruta setores específicos do sistema sensório motor incluindo as redes de NE. A pesquisa realizada por Tettamanti e colaboradores (2005), utilizou a fMRI para investigar a ativação do sistema de NE durante a audição de frases descrevendo ações realizadas com a boca, mãos e pernas. O trabalho sugere que orações relacionadas a ação recrutam regiões da área de Broca onde estão enterradas populações de NE. O trabalho elaborado por de Zubicaray e colaboradores (2010), também empregou a técnica da fMRI para examinar o comportamento do sistema de NE mediante estímulos visuais e auditivos de palavras relacionadas a execução de uma ação.

Os autores observaram atividades de células espelho na área de Broca, porém sugerem que essa ativação não contribui para a compreensão semântica, mas sim para a distribuição hierárquica das palavras. Apesar disso, os pesquisadores não citam qualquer correlação entre os NE e o processamento sintático. No artigo produzido por Hauk e Pulvermüller (2004), os autores utilizaram a técnica do EEG para pesquisar diferenças eletrofisiológicas durante estímulos linguísticos apresentados visualmente, ou seja, a partir da leitura passiva de palavras relacionadas as pernas e a face. Os dados analisados pelos pesquisadores indicam que a diferença semântica das palavras é evocada em torno de 200mseg em áreas motoras. Segundo os autores esse padrão espaço-temporal de ativação cortical pode estar relacionado com o acesso inicial ao conteúdo lexical e semântico no nível cognitivo. O trabalho realizado por Wu e colaboradores (2014), recorreu a técnica da fMRI para examinar a atividade do sistema de NE frente o processamento visual de palavras com sentido semântico relacionado a ação. Os autores sugerem que diferentes conteúdos semânticos provocam distintos efeitos modulatórios nos NE. Por fim, o artigo elaborado por Arevalo, Baldo e Dronkers, (2012), recrutou pacientes com lesão em áreas corticais associadas ao sistema de NE. Os participantes visualizaram e ouviram palavras relacionadas ao uso das mãos, boca e pés. Os pesquisadores observaram que não há um suporte para uma distribuição somatotopicamente organizada dos membros analisados. Logo, não se deve seguir uma interpretação estrita a somatotopia homuncular para a semântica incorporada. Afinal, os autores concluíram que o processamento semântico não se restringe a rede de NE.

De modo geral, os onze trabalhos que investigaram a relação entre os NE e o processamento semântico utilizaram metodologias semelhantes, ou seja, examinaram exclusivamente palavras relacionadas a partes do corpo humano como mãos, braços, boca, pernas, pé e face. Além disso, os artigos empregaram verbos, substantivos ou frases que descrevem uma ação realizada com alguma dessas partes, por exemplo: eu mordo a maçã; ele pulou o buraco. Basicamente, os testes envolveram tanto a audição quanto a leitura em voz alta ou silenciosa dos participantes. Palavras com referencial abstrato que não envolvem partes do corpo como enganar ou persuadir, além de termos fictícios como “yuft” ou sons

que não são produzidos por ações humanas como “água fluindo” ou “som de um helicóptero”, além de metáforas que envolvem algum verbo de ação corporal como “mastigar os detalhes” ou “pegar a ideia”, foram utilizadas tanto como controle quanto para investigar a modalidade semântica das palavras.

7.17 - Localização dos neurônios espelho

A maioria dos trabalhos citam as áreas como um todo, ou seja, não especificam uma subárea. Compreendemos que isso se dá pela falta de certeza sobre essas subáreas e por dificuldades metodológicas. Além disso, os artigos empregam diferentes nomenclaturas para uma mesma região cortical. Como exemplo vale citar o giro frontal inferior esquerdo também conhecido como área de Broca que é composto pelas subáreas (BA 44) e (BA 45). Outro ponto que dificulta a localização exata dos NE está relacionada a organização cortical de uma mesma região. A área de Broca é um exemplo de como um espaço cortical pode conter diferentes configurações celulares. Aliás, o conhecimento espacial sobre onde começa e termina uma população de NE requer um exame no nível microscópico dos circuitos e não apenas macroscópico como revelam as técnicas empregadas. O seguinte quadro descreve as regiões onde foram identificadas células com características de NE:

Quadro 3 - Áreas com características de NE.

Título do trabalho e autores (NE e Fonética)	Áreas ou subáreas
Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal gyrus. Restle <i>et al.</i> , 2012.	Parte posterior do giro frontal inferior no hemisfério esquerdo.
Are mirror neurons the basis of speech perception? Evidence from five cases with damage to the purported human mirror system. Rogalsky <i>et al.</i> , 2011.	Regiões motoras do lobo frontal posterior esquerdo e/ou lóbulo parietal inferior.
Self awareness and speech processing: An fMRI study. Jardri <i>et al.</i> , 2007.	Córtex pré-motor ventral; sulco temporal superior e lóbulo parietal inferior.
Título do trabalho e autores	Áreas ou subáreas

(NE e Semântica)	
A selective representation of the meaning of actions in the auditory mirror system. Galati <i>et al.</i> , 2008.	Frontal inferior esquerdo e regiões temporais posteriores.
Action and object words are differentially anchored in the sensory motor system - A perspective on cognitive embodiment. Horoufchin <i>et al.</i> , 2019.	Giro frontal inferior bilateral, sulco parietal inferior.
Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. Aziz-Zadeh <i>et al.</i> , 2006.	Córtex pré-motor no hemisfério esquerdo.
Distributed Cell Assemblies for General Lexicaland Category-Specific Semantic Processing as Revealed by fMRI Cluster Analysis. Pulvermüller <i>et al.</i> , 2009.	Córtex frontal e temporal: ativação frontal inferior, temporal superior e fusiforme.
How to do things with Words: Role of motor cortex in semantic representation of action words. Kana <i>et al.</i> , 2012.	Giro frontal inferior esquerdo; sulcos temporais posterior superior esquerdo. Áreas motora primária; parietal inferior esquerda; occipital bilateral; temporal superior direita e frontal inferior direita.
Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. Buccino <i>et al.</i> , 2005.	Área motora no hemisfério esquerdo.
Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motorcircuits. Tettamanti <i>et al.</i> , 2005.	Rede fronto-parieto-temporal esquerda que inclui a <i>pars opercularis</i> do giro frontal inferior (área de Broca), setores do córtex pré-motor; lóbulo parietal inferior; sulco intraparietal e o giro temporal médio posterior.
Mirror neurons, the representation of word meaning, and the foot of the third left frontal convolution. Zubicaray <i>et al.</i> , 2010.	Área de Broca (BA 44).
Neurophysiological distinction of action words in the fronto-centralcortex. Hauk e Pulverüller, 2004.	Áreas frontais do córtex motores primários, pré-motores e locais pré-frontais. Áreas frontoparietais dorsais; frontais inferiores

	esquerdos. No hemisfério direito: áreas frontais laterais.
Object words modulate the activity of the mirror neuron system during action imitation. Wu <i>et al.</i> , 2014.	Giro frontal inferior direito, córtex pré-motor; lóbulo parietal inferior; sulco temporal superior.
What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? Arevalo, Baldo e Dronkers, 2012.	Regiões do córtex pré-motor/motor ou regiões somatossensoriais no hemisfério esquerdo; Brodmann áreas (4/6, 1/2/3, 21 e 44/45).

7.18 - Língua dos voluntários

Dentre os quatorze artigos selecionados para a revisão oito trabalhos recrutaram participantes que tinham como língua materna o inglês.

Quadro 4 - Demonstrativo da seleção língua materna em inglês.

Título do trabalho e autores	Língua dos participantes
What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? Arevalo, Baldo e Dronkers, 2012.	Inglês
Distributed Cell Assemblies for General Lexical and Category-Specific Semantic Processing as Revealed by fMRI Cluster Analysis. Pulvermüller <i>et al.</i> , 2009.	Inglês
Mirror neurons, the representation of word meaning, and the foot of the third left frontal convolution. Zubicaray <i>et al.</i> , 2010.	Inglês
Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. Aziz-Zadeh <i>et al.</i> , 2006.	Inglês
How to do things with Words: Role of motor cortex in semantic representation of action words. Kana <i>et al.</i> , 2012.	Inglês
A selective representation of the meaning of actions in the auditory mirror system. Galati <i>et al.</i> , 2008.	Inglês

Are mirror neurons the basis of speech perception? Evidence from five cases with damage to the purported human mirror system. Rogalsky <i>et al.</i> , 2011.	Inglês
Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. Hauk e Pulverüller, 2004.	Inglês

Dois trabalhos realizaram experimentos com falantes do italiano:

Quadro 5 - Demonstrativo da seleção língua materna em italiano.

Título do trabalho e autores	Língua dos participantes
Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. Buccino <i>et al.</i> , 2005.	Italiano
Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. Tettamanti <i>et al.</i> , 2005.	Italiano

Dois estudos foram conduzidos com falantes do alemão, sendo que um deles realizou tarefas no idioma japonês. O experimento empregou frases em japonês, no entanto os participantes não dominavam a língua.

Quadro 6 - Demonstrativo da seleção língua materna em alemão e japonês.

Título do trabalho e autores	Língua dos participantes
Action and object words are differentially anchored in the sensory motor system - A perspective on cognitive embodiment. Horoufchin <i>et al.</i> , 2019.	Alemão
Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal gyrus. Restle <i>et al.</i> , 2012.	Alemão e Japonês

Apenas uma pesquisa foi realizada com falantes do francês:

Quadro 7- Demonstrativo da seleção língua materna em francês.

Título do trabalho e autores	Língua dos participantes
Self awareness and speech processing: An fMRI study. Jardri <i>et al.</i> , 2007.	Francês

Por fim, apenas um artigo foi conduzido no idioma chinês:

Quadro 8 - Demonstrativo da seleção língua materna em chinês.

Título do trabalho e autores	Língua dos participantes
Object words modulate the activity of the mirror neuron system during action imitation. Wu <i>et al.</i> , 2014.	Chinês

Analisando os resultados é possível concluir que dentre as cinco línguas examinadas o inglês é o idioma dominante nas pesquisas. Compreendemos a importância de recrutar falantes de diferentes línguas para ampliar o campo de pesquisa que pode comparar os dados examinando semelhanças e diferenças. Afinal, os estudos não mencionam se os participantes apresentam traços de regionalismo linguístico ou se falam outras línguas. Em suma, as pesquisas empíricas em neurociência da linguagem precisam abranger o maior número de línguas, se não todas para elaborar uma teoria geral sobre os substratos neurobiológicos da linguagem que inclui o sistema de NE.

7.19 - Número de participantes e gênero

Quadro 9 – Demonstrativo da seleção gênero.

Título do trabalho e autores	Homens	Mulheres
Object words modulate the activity of the mirror neuron system during action imitation. Wu <i>et al.</i> , 2014.	10	9
What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? Arevalo, Baldo e Dronkers, 2012.	21	6

Distributed Cell Assemblies for General Lexical and Category-Specific Semantic Processing as Revealed by fMRI Cluster Analysis. Pulvermüller <i>et al.</i> , 2009.	11	21
Mirror neurons, the representation of word meaning, and the foot of the third left frontal convolution. Zubicaray <i>et al.</i> , 2010.	5	12
Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. Aziz-Zadeh <i>et al.</i> , 2006.	4	8
Action and object words are differentially anchored in the sensory motor system - A perspective on cognitive embodiment. Horoufchin <i>et al.</i> , 2019.	10	10
Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal gyrus. Restle <i>et al.</i> , 2012.	Não especifica	Não especifica
How to do things with Words: Role of motor cortex in semantic representation of action words. Kana <i>et al.</i> , 2012.	8	16
A selective representation of the meaning of actions in the auditory mirror system. Galati <i>et al.</i> , 2008.	10	16
Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. Buccino <i>et al.</i> , 2005.	8	0
Are mirror neurons the basis of speech perception? Evidence from five cases with damage to the purported human mirror system. Rogalsky <i>et al.</i> , 2011.	2	3
Self awareness and speech processing: An fMRI study. Jardri <i>et al.</i> , 2007.	6	6
Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. Tettamanti <i>et al.</i> , 2005.	5	12
Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. Hauk e Pulverüller, 2004.	5	7

No geral foram recrutados 125 homens e 126 mulheres. A maioria dos trabalhos não menciona a média ou a idade dos participantes. Nenhum trabalho realizou experimentos com crianças ou idosos. Apenas o experimento de Pulvermüller *et al.*, 2009, informou que os participantes são jovens e monolíngues. Os trabalhos não descrevem o nível de escolaridade e a classe socioeconômica dos participantes. Compreendemos que ambos fatores são relevantes para citar nas pesquisas, pois influenciam no conhecimento e na performance linguística dos falantes.

7.20 - Respostas da revisão

1. Quais processos da linguagem são correlacionados com a ativação do sistema de NE?

Segundo o resultado obtido pela revisão sistemática o sistema de NE é recrutado mediante o processamento de informações fonéticas e semânticas.

2. Quais técnicas empíricas evidenciam a correlação entre o sistema de NE e o processamento da linguagem?

Segundo o resultado da revisão sistemática três técnicas foram utilizadas: a Imagem por Ressonância Magnética Funcional – fMRI; a Estimulação Magnética Transcraniana – EMT; e a Eletroencefalografia - EEG.

3. Onde foram localizadas as células com características de NE mediante o processamento da linguagem?

De modo geral, o sistema de NE foi localizado principalmente na parte posterior do giro frontal inferior no hemisfério esquerdo que corresponde a área de Broca composta pela subárea (BA 45) e (BA 44).

4. Qual é o tempo de disparo do circuito de NE frente a codificação de informações linguísticas?

No artigo produzido por Hauk e Pulvermüller (2004), os autores utilizaram a técnica do EEG para pesquisar diferenças eletrofisiológicas a partir da leitura

passiva de palavras relacionadas as pernas e a face. Os dados do experimento indicam que o processamento semântico dessa classe de palavras é evocado em áreas motoras em torno de 200mseg. Apesar disso, os autores não fazem qualquer menção ao comportamento de ondas dos NE.

5. Por que os NE são associados com o processamento de informações linguísticas? Existe um argumento comum entre os trabalhos?

De modo geral, os quatorze artigos selecionados na revisão sugerem uma relação causal entre a ativação do sistema de NE e a codificação de dados fonéticos e semânticos. Os trabalhos justificam a correlação segundo a lógica de que uma área ativada durante um estímulo recebido ou uma tarefa executada representa o substrato neurobiológico da mesma.

6. Quais problemas empíricos e teóricos emergem da correlação entre a pesquisa experimental sobre os NE com conceitos teóricos do programa linguístico de Chomsky?

Em relação a questão empírica está claro que as tecnologias utilizadas para examinar a correlação entre o sistema de NE e o processamento de informações fonéticas e semânticas produzem basicamente dados de localização espacial relacionado a operações linguísticas. A maioria dos experimentos analisados na revisão recorreram a fMRI que indica por meio de imagens computadorizadas a(s) área(s) ativadas durante a codificação de informações fonéticas e semânticas. Aliás, técnicas eletrofisiológicas como a EMT, o EEG ou mesmo o exame de pacientes com lesão cerebral também identificam regiões engajadas com o processamento da linguagem. Nesse caso, é comum constatar que a interpretação desses dados conduz a uma explicação causal que representa uma visão reducionista das pesquisas. Segundo o professor de psicologia e neurociências David Poeppel (1964 -)⁴⁸⁹, essa questão é conhecida como o “problema de mapas”⁴⁹⁰ (2012). Apesar dessas técnicas ou exames servirem como uma fonte de consulta para a identificação espacial de sítios corticais envolvidos com o funcionamento da linguagem, a pergunta principal não deve se limitar a onde estão localizados o sistema de NE ativados

⁴⁸⁹ David Poeppel, nascido em 1964.

⁴⁹⁰ Termo original: “maps problem”.

mediante a codificação de informações fonéticas e semânticas, mas sim, como, quando e por que essas células neurais participam do processamento de sinais linguísticos.

A respeito do problema teórico cabe mencionar que por um lado está o exame do sistema de NE que são interpretados como o substrato neurobiológico recrutado para o processamento de informações linguísticas. Por outro, estão conceitos tradicionais como fonética e semântica. Logo, está sendo articulado conhecimentos e conceitos oriundos de diferentes campos de pesquisa, por isso, é preciso atenção para não produzir correlações grosseiras. Poeppel sugere que se trata de um “problema de mapeamento”⁴⁹¹ conceitual (2012). Ambos os problemas serão devidamente examinados no próximo capítulo.

7.21 - Conclusão

A revisão sistemática sobre os trabalhos empíricos que examinaram o sistema de NE no córtex cerebral humano mediante o estímulo e o exercício de tarefas linguísticas sugere que células com características de NE são ativadas durante a codificação de informações fonéticas e semânticas. O resultado advém de interpretações causais fundamentadas em dados localizacionistas. Além disso, as técnicas possuem limitações espaciais e temporais que dificultam reconhecer se as células neurais em funcionamento realmente são NE. Outra questão alude as diferenças terminologias aplicadas a uma mesma área cortical que podem levar a confusões de análise e comparação entre diferentes trabalhos. Afinal, apesar da revisão ter recuperado 1297 trabalhos a segunda triagem aceitou apenas 14 artigos, revelando assim uma quantidade de dados empíricos insuficiente para chegar a uma conclusão consistente. Portanto, defendemos que é necessário um volume maior de dados neurocientíficos, além de exames que vão além da localização espacial de uma área funcionalmente ativada para que seja plausível aceitar de modo claro e objetivo que o sistema de NE processa informações linguísticas.

⁴⁹¹ Termo original: “mapping problem”.

CAPÍTULO 8 – NEUROCIÊNCIA E LINGUÍSTICA

O objetivo desse capítulo é pesquisar, conhecer e refletir sobre como o campo do conhecimento da neurociência e da linguística se correlacionam. Para delinear o recorte temático entre ambas as disciplinas escolhemos o sistema de NE e a teoria da linguagem de Chomsky. Até o momento descrevemos e examinamos o conhecimento científico sobre a organização estrutural e funcional dessa classe de células neurais, assim como o programa de pesquisa em linguística. Além disso, a revisão sistemática constatou dois problemas que emergem do contato entre neurociência e linguística. Por isso, o capítulo apresenta e analisa como os dados empíricos da neurociência e os pressupostos teóricos da linguística são correlacionados e como podem ser co-interpretados usando como exemplo a relação entre os NE e a linguagem.

A primeira questão a ser analisada diz respeito a correlação entre localização neuroanatômica e funcionalidade. No início da tese mencionamos a existência de um papiro cirúrgico encontrado no antigo Egito que contém a descrição de um caso clínico, cujo o paciente não conseguia falar quando uma área do córtex cerebral que ficou exposta por uma fratura era tocada pelo médico sacerdote. A partir do raciocínio causal foi deduzido que essa região estava envolvida com o processamento da linguagem falada mesmo sem saber como ou por que. Historicamente, o pressuposto de que tanto o comportamento quanto funções mentais, ou melhor qualidades morais e faculdades intelectuais estão localizadas em áreas específicas do cérebro foi salientado pelo trabalho desenvolvido pelo médico e anatomista Joseph Gall. Em sua obra intitulada: “Sobre as funções do cérebro e de cada uma de suas partes: com observações sobre a possibilidade de determinar os instintos, propensões e talentos, ou as disposições morais e intelectuais de homens e animais, pela configuração do cérebro e da cabeça”⁴⁹² (Gall, 1835), o autor assume que:

“Entendo por disposições inatas, aptidões mecânicas, determinados instintos e propensões, determinadas faculdades e talentos. Entendo,

⁴⁹² Título original: “On the functions of the brain and of each of its parts: with observations on the possibility of determining the instincts, propensities, and talents, or the moral and intellectual dispositions of men and animals, by the configuration of the brain and head”.

o que provarei nos volumes seguintes, que cada órgão cerebral é impresso com uma tendência determinada; que cada órgão goza de uma percepção interna, de uma força, de uma faculdade, de um impulso, de uma propensão, de um sentimento peculiar a si mesmo. Aqui não há resultado vago e incerto nem de uma influência exterior, nem de uma abstração interior. Assim que os órgãos relativos adquiriram seu perfeito desenvolvimento e plena atividade, as funções resultantes são tão determinadas quanto as próprias disposições, das quais esses órgãos são os depositários”⁴⁹³ (Gall, 1835, p. 97).

É curioso notar que Gall assim como Chomsky emprega em suas obras o termo órgão cerebral que alude aos módulos, ou seja, circuitos neurais especializados que Gall sugeriu que são estruturalmente e funcionalmente pré-determinados. O pesquisador alemão sugere que “O inatismo das forças fundamentais, morais e intelectuais, é a base da fisiologia do cérebro”⁴⁹⁴ (Ibidem, 1835, p. 99). Além do mais:

“Todos os anatomistas e fisiologistas concordam que as faculdades aumentam nos animais, na proporção em que seu cérebro se torna mais composto e mais perfeito. Por que deveria o homem sozinho formar uma exceção a esta regra geral”⁴⁹⁵ (Ibidem, 1835, p. 103).

Gall sugere que o órgão da linguagem situado no tecido orgânico do cérebro processa tanto as impressões sensoriais quanto as ideias, e por isso, considerou a linguagem uma faculdade intelectual superior. Ele também compreendeu que o órgão da linguagem segue um cronograma de maturação neurobiológico e que uma lesão em áreas envolvidas com o processamento de informações linguísticas pode causar disfunções na linguagem. Gall sumariza sua doutrina sobre as funções do cérebro nos seguintes pontos:

⁴⁹³ Trecho original: “I understand by innate dispositions, mechanical aptitudes, determinate instincts and propensities, determinate faculties and talents. I understand, what I shall prove in the following volumes, tht each cerebral organ is impressed with a determinate tendency; that each organ enjoys an internal perception, a force, a faculty, na impulse, a propensity, a feeling, peculiar to itself. Here, there is no vague and uncertain result either of na exterior influence, or of na interior abstraction. As soon as the relative organs have acquired their perfect development and entire activity, the functions which result, are as determinate as the dispositions themselves, of which these organs are the depositaries”.

⁴⁹⁴ Trecho original: “The innateness of the fundamental forces, moral and intellectual, is the basis of the physiology of the brain”.

⁴⁹⁵ Trecho original: “All anatomists and physiologists agree, that the faculties augment in animals, in proportion as their brain becomes more compounded and more perfect. Why should man alone form na exception to this general rule?”.

“1. Que as faculdades morais e intelectuais são inatas. 2. Que o seu exercício ou manifestação dependa da organização. 3. Que o cérebro é o órgão de todas as propensões, sentimentos e faculdades. 4. Que o cérebro é composto de tantos órgãos particulares quantas são as propensões, sentimentos e faculdades que diferem essencialmente entre si. E como os órgãos e suas localidades podem ser determinados apenas pela observação, também é necessário que a forma da cabeça ou do crânio represente, na maioria dos casos, a forma do cérebro, e sugere vários meios para determinar as qualidades fundamentais e faculdades, e a sede dos seus órgãos”⁴⁹⁶ (ibidem, 1835, p. 55).

Cabe esclarecer que a hipótese de que as faculdades mentais, assim como as características morais e comportamentais estão situadas em diferentes órgãos do cérebro remete ao conceito de “organologia”⁴⁹⁷ que ao serem examinadas com base na observação estrutural do crânio alude a “cranioscopia”⁴⁹⁸. Ambos conceitos empregados inicialmente por Gall foram popularizados posteriormente por seu discípulo Johann Spurzheim (1776 – 1832)⁴⁹⁹ com o termo “frenologia”⁵⁰⁰.

⁴⁹⁶ Trecho original: “1. That moral and intellectual faculties are innate. 2. That their exercise or manifestation depends on Organization. 3. That the brain is the organ of all the propensities, sentiments, and faculties. 4. That the brain is composed of as many particular organs as there are propensities, sentiments, and faculties, which differ essentially from each other. And as the organs and their localities can be determined by observation only, it is also necessary that the form of the head or cranium should represent, in most cases, the form of the brain, and should suggest various means to ascertain the fundamental qualities and faculties, and the seat of their organs”.

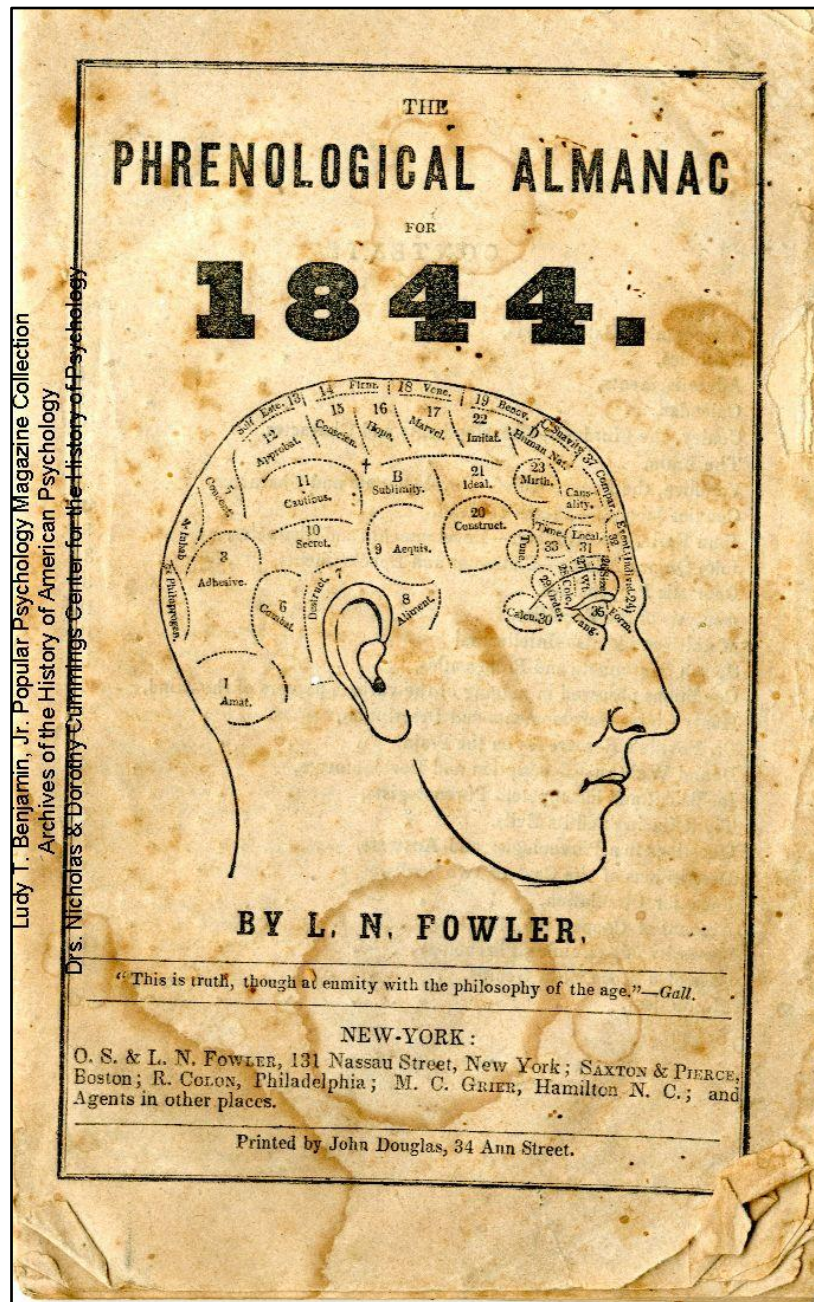
⁴⁹⁷ Termo original: “Organology”.

⁴⁹⁸ Termo original: “Cranioscopy”.

⁴⁹⁹ Spurzheim, nascido em 1776, falecido em 1832.

⁵⁰⁰ Termo original: “Frenology”.

Figura 76 - Capa do Jornal Americano de Frenologia.



Fonte: Ludy T. Benjamin, Jr. Popular Psychology Magazine Collection. Archives of the History of American Psychology. Drs. Nicholas and Dorothy Cummings Center for the History of Psychology, The University of Akron⁵⁰¹. A imagem ilustra diferentes regiões ao redor da cabeça circunscritas com linhas pontilhadas e números que identificam características intelectuais, morais e comportamentais. Situado embaixo do desenho está a seguinte citação de Gall sobre o embate entre os filósofos e os pressupostos da frenologia: “Isso é verdade, embora a inimidade com a filosofia da época”⁵⁰².

⁵⁰¹ Disponível em: <https://collections.uakron.edu/digital/collection/p15960coll1/id/33682/rec/1> . Acessado em: 22 dez. 2022.

⁵⁰² Trecho original: “This is truth, though at enmity with the philosophy of the age”.

Além dos pressupostos assumidos por Gall a localização cortical de faculdades cognitivas em particular a linguagem, foi salientada pelas observações clínicas do pesquisador francês Pierre Broca que declarou que “[...] nós falamos com o hemisfério esquerdo”⁵⁰³ (Broca 1863, *apud* Kandel 2014, p. 8). Como já mencionado, Broca fundou a neuropsicologia como um campo de investigação científica que pesquisa os processos mentais a partir do exame de pacientes com alguma lesão no tecido cortical e não mais sobre as protuberâncias da cabeça como sugeriu Gall. Nas palavras de Broca “[...] eu acreditava que, se houvesse uma ciência frenológica, seria a frenologia das circunvoluções (no córtex), e não a frenologia dos calombos (na cabeça)” (Broca, 1863, *apud* Kandel et al., 2014, p. 8, parênteses do autor). Outro pesquisador que investigou a correlação entre a localização neuroanatômica e a funcionalidade da linguagem foi o médico Carl Wernicke que sugeriu com base na análise de lesões crânio encefálicas que a compreensão da fala ocorre na parte posterior do lobo temporal esquerdo. A observação de Wernicke em comparação com o trabalho de Broca levou o cientista alemão a concluir que a linguagem é processada em uma área motora e em outra sensorial.

Vale relatar um caso clássico da literatura neurocientífica que também contribuiu para a compreensão de que as funções mentais estão situadas no tecido orgânico do cérebro. O acidente ocorreu com um homem de vinte e cinco anos que teve o rosto e a cabeça perfurada por uma barra de ferro devido uma explosão em uma escavação de rochas que abria caminho para a construção de uma estrada ferroviária na cidade de Cavendish, localizado no condado de Windsor no estado norte americano de Vermont em treze de setembro de 1848. O acidente ficou conhecido como o caso Phineas Gage. O paciente ficou sob os cuidados do médico John Martyn Harlow⁵⁰⁴, que relatou o acidente de Gage perante a “Sociedade Médica de Massachusetts”⁵⁰⁵ em três de junho de 1868:

“O projétil entrou por sua extremidade pontiaguda no lado esquerdo da face, imediatamente anterior ao ângulo da mandíbula inferior, e passando obliquamente para cima, e obliquamente para trás, emergiu na linha mediana, na parte posterior do osso frontal, perto da sutura

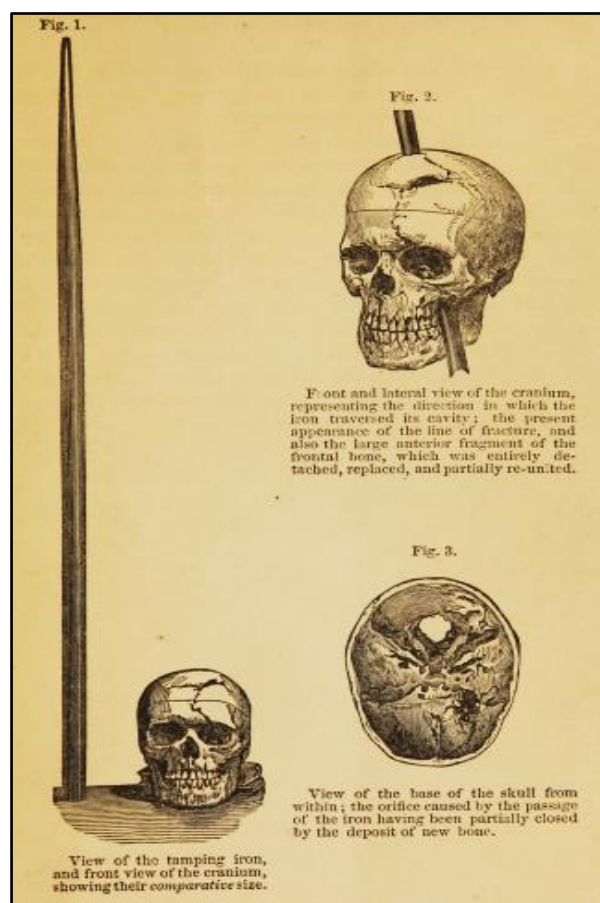
⁵⁰³ Trecho original: “[...] nous parlons avec l’hémisphère gauche”.

⁵⁰⁴ Martyn Harlow, nascido em 1819, falecido em 1907.

⁵⁰⁵ Título original: “The Massachusetts Medical Society”.

coronal. [...] O ferro que assim atravessou o talão é conhecido pelos blasters [trabalhadores especializados no uso de explosivos] como "ferro compactador", é redondo e torna-se comparativamente liso pelo uso, e tem três pés e sete polegadas [1.092 m] de comprimento, e um quarto de polegada [6,35 mm] em seu maior diâmetro e pesa treze libras e um quarto [6,01 kg]. A extremidade que entrou primeiro é pontiaguda, o cone tendo cerca de doze polegadas de comprimento e o diâmetro da ponta um quarto de polegada"⁵⁰⁶ (Harlow, 1869, p. 5).

Figura 77 - Ilustração da barra de ferro e a posição da perfuração.



Fonte: Harlow (1869, p. 21). A figura 1. mostra o comprimento e a espessura da barra de ferro comparada com o tamanho do crânio na vista frontal. A figura 2. ilustra a direção perfurada do crânio pela barra, assim como o pedaço do osso frontal que foi totalmente destacado, substituído e parcialmente reunido. A figura 3. exibe a base do crânio por dentro e o orifício aberto pela barra de ferro que foi parcialmente fechado pelo depósito de um novo osso.

⁵⁰⁶ Trecho original: "The missile entered by its pointed end, the left side of the face, immediately anterior to the angle of the lower jaw, and passing obliquely upwards, and obliquely back wards, emerged in the median line, at the back part of the frontal bone, near the coronal suture. [...] The iron which thus traversed the head, is known with blasters as a "tamping iron," is round and rendered comparatively smooth by use, and is three feet seven inches in length, one and one-fourth inches in its largest diameter, and weighs thirteen and one-fourth pounds. The end which entered first is pointed, the taper being about twelve inches long, and the diameter of the point one-fourth of an inch".

Apesar da gravidade do acidente, Gage apresentou progresso em relação a saúde física. No entanto, mesmo que o paciente conseguia comer, andar e dormir suas capacidades intelectuais se manifestavam de forma débil. Segundo a descrição de Harlow “[...] sua mente mudou radicalmente, tão decididamente que seus amigos e conhecidos disseram que ele "não era mais o Gage”⁵⁰⁷ (Ibidem, 1869, p. 14, aspas do autor). Afinal, cabe acrescentar a seguinte observação feita por Harlow:

“Este caso foi citado como de recuperação completa, sendo frequentemente dito que uma porção muito considerável do cérebro esquerdo foi perdida, sem qualquer prejuízo para o intelecto. Acho que lhe foi mostrado que a história subsequente e o andamento do caso apenas nos permitem dizer que, fisicamente, a recuperação foi bastante completa durante os quatro anos imediatamente após a lesão, mas aprendemos com a seqüela que, em última análise, o paciente provavelmente sucumbiu à doença progressiva do cérebro. Mentalmente, a recuperação certamente foi apenas parcial, suas faculdades intelectuais foram decididamente prejudicadas, mas não totalmente perdidas; nada como demência, mas eles estavam enfraquecidos em suas manifestações, suas operações mentais sendo perfeitas em espécie, mas não em grau ou quantidade. Talvez isso possa ser satisfatoriamente explicado pelo fato de que, embora o lobo anterior e uma parte do meio do cérebro esquerdo tenham sido destruídos para funcionar, suas funções suspensas, [outras regiões permaneceram] intactas e conduziram suas operações isoladamente e debilmente”⁵⁰⁸ (Ibidem, 1869, p. 19).

De modo geral, os trabalhos produzidos por Gall, Broca e Wernicke, além do caso Phineas Gage salientou o entendimento de que a cognição e o comportamento são suscetíveis de serem identificados neurobiologicamente, ou

⁵⁰⁷ Trecho original: “[...] his mind was radically changed, so decidedly that his friends and acquaintances said he was "no longer Gage””.

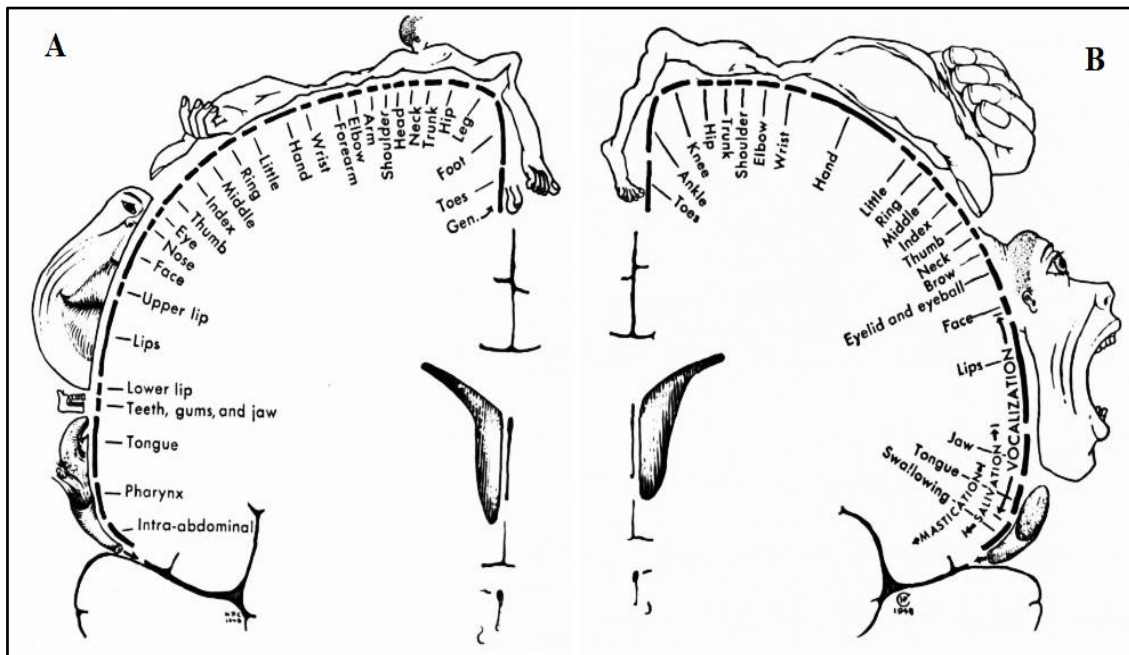
⁵⁰⁸ Trecho original: “This case has been cited as one of complete recovery, it being often said that a very considerable portion of the left cerebrum was lost, without any impairment to the intellect. I think you have been shown that the subsequent history and progress of the case only warrant us in saying that, physically, the recovery was quite complete during the four years immediately succeeding the injury, but we learn from the sequel that ultimately the patient probably succumbed to progressive disease of the brain. Mentally the recovery certainly was only partial, his intellectual faculties being decidedly impaired, but not totally lost; nothing like dementia, but they were enfeebled in their manifestations, his mental operations being perfect in kind, but not in degree or quantity. This may perhaps be satisfactorily accounted for in the fact that while the anterior and a part of the middle lobes of the left cerebrum must have been destroyed as to function, its functions suspended, its fellow was left intact, and conducted its operations singly and feebly”.

melhor, localizados em áreas específicas do tecido orgânico do cérebro que comportam os substratos neurais de faculdades cognitivas como a linguagem.

Além dessas pesquisas vale relatar que investigações neuroanatômicas e neurofisiológicas sobre a organização estrutural e funcional dos sistemas sensoriais também contribuíram para o conhecimento de que diferentes domínios perceptivos são localizados em áreas específicas do cérebro. Aliás, algumas regiões por onde passam o fluxo de sinais de um órgão sensorial foram identificadas configurações neurais que formam uma espécie de mapa neurobiológico. O princípio básico dessas representações topográficas no cérebro é codificar diferentes espectros de informações conforme as características do estímulo. Quer dizer, a forma como as células neurais aparecem enterradas no tecido biológico revela que sua organização estrutural e funcional são especializadas.

É curioso pensar no progresso das pesquisas que inicialmente examinavam e formulavam hipóteses com base na observação de grandes áreas corticais lesionadas. Posteriormente foi possível estudar o nível macroscópico com mais detalhes e atualmente os neurocientistas conseguem pesquisar tanto a forma citoanatômica quanto o comportamento de uma única célula neural como fez o grupo de Parma. Por falar nisso, os cientistas italianos sugerem que os NE estão estruturalmente configurados como um mapa somatotópico no córtex agranular frontal esquerdo de primatas não humanos como ilustra a Figura 10, no capítulo 2. Aliás, o conjunto de mapas sensórios motores no córtex cerebral humano alude ao homúnculo de Penfield como ilustra a seguinte imagem:

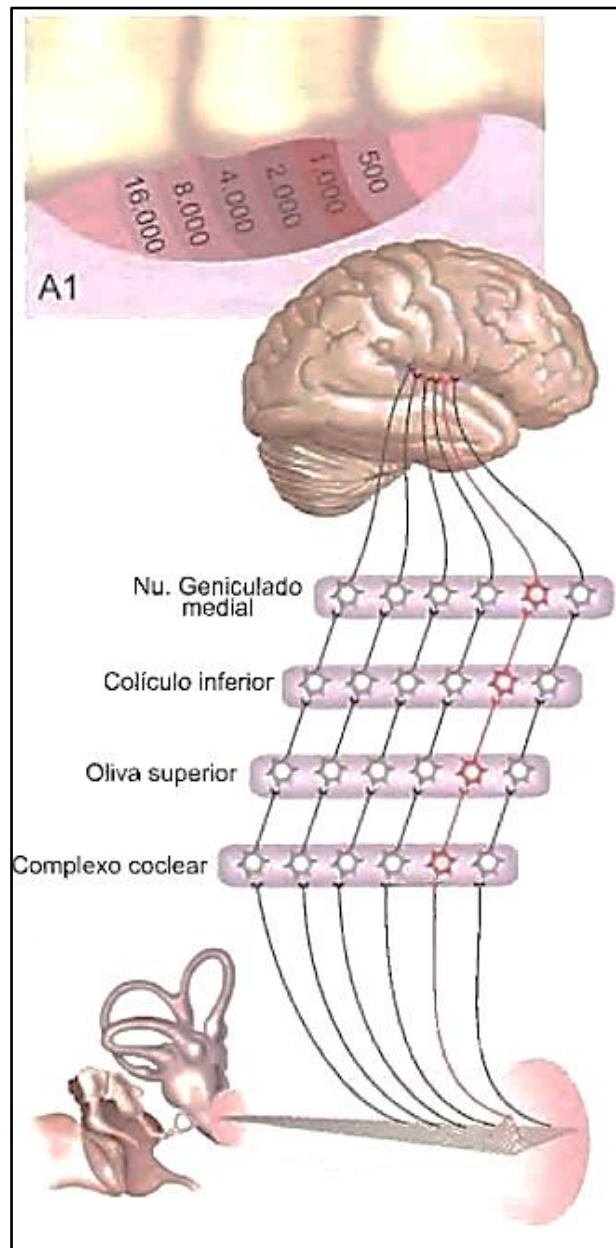
Figura 78 - Homúnculo sensorial e motor.



Fonte: Adaptado de Penfield e Rasmussen (1950, (A) p. 44; (B) p. 57). A ilustração (A) mostra o homúnculo sensorial e a imagem (B) o homúnculo motor. O hemisfério esquerdo em (A) e direito em (B) são visualizados em um corte transversal que revelam a dimensão proporcional a área ocupada para cada representação sensorial e motora. As linhas tracejadas que acompanham o formato do córtex indicam com mais precisão a extensão do tecido cortical implicado com cada parte sensorio motora.

Além disso, existem mapas para a modalidade visual chamado visuotópico ou retinotópico identificado na retina e de forma semelhante o sistema auditivo possui populações neurais que formam o mapa tonotópico ou cocleotópico composto pelos receptores auditivos da cóclea.

Figura 79 - Organização do mapa tonotópico do sistema auditivo.



Fonte: Lent (2010, p. 285). A figura mostra a distribuição espacial de células neurais em diferentes áreas que respondem a frequências audíveis. A membrana basilar representada na cor vermelha ilustra os estágios da codificação de informações do sistema auditivo até a figura A1 onde se localiza o mapa tonotópico organizado sistematicamente de acordo com as frequências de hertz.

Apesar dos primeiros mapas serem mais grosseiros, ou seja, a delimitação das áreas não era tão precisa, as pesquisas atuais conseguem produzir mapas cada vez mais detalhados. Entretanto, mesmo com o desenvolvimento de tecnologias não invasivas como a fMRI, EEG, EMT ou PET a localização espacial de diferentes faculdades cognitivas continua sendo essencialmente interpretada segundo a lógica do raciocínio causal, ou seja, uma

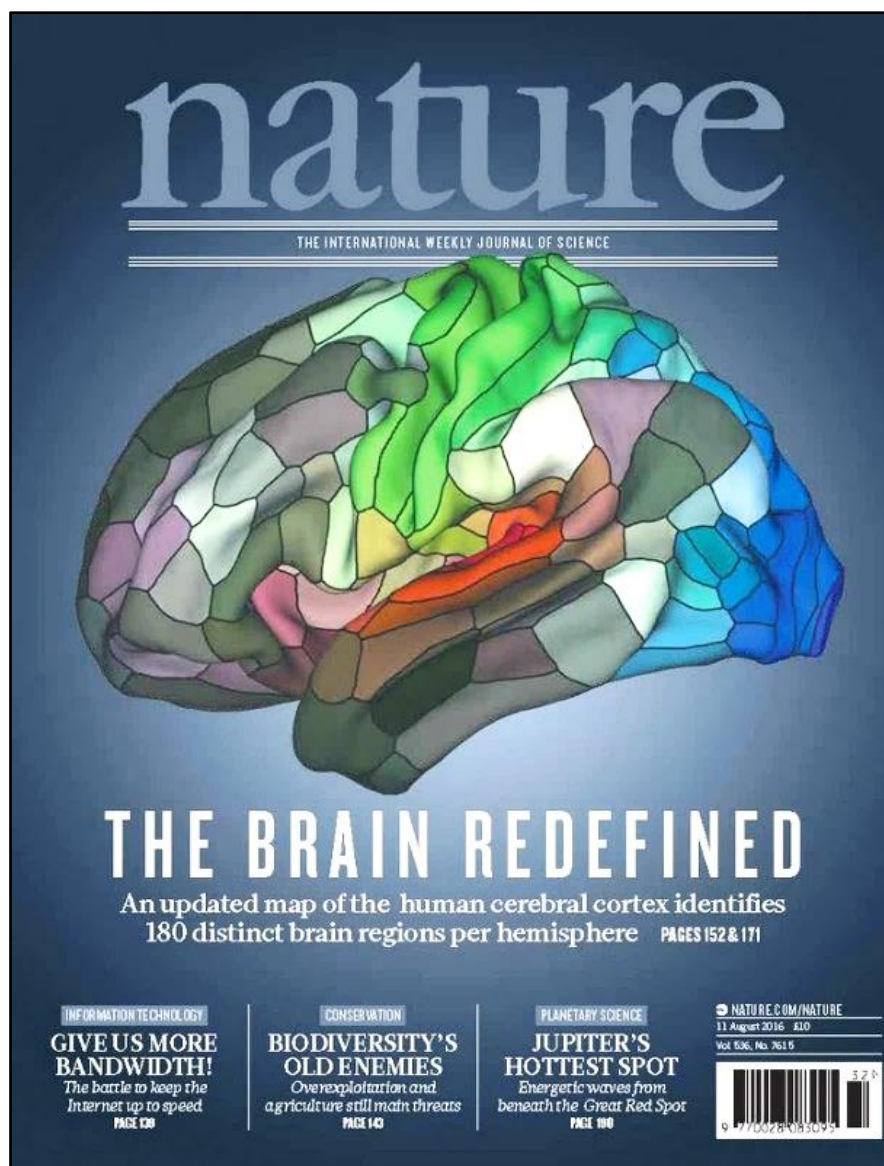
área uma função. É curioso notar que apesar do avanço tecnológico no campo de pesquisa das neurociências as teorias ainda recorrem a uma interpretação causal. Essa disparidade entre o avanço tecnológico e o “atraso” teórico reflete o *zeitgeist* das neurociências. Ou seja, o espírito da época das pesquisas em investigar, interpretar e explicar a organização estrutural e funcional do cérebro e sua correlação com os domínios cognitivo, sensorial ou comportamental ainda recorrem ao raciocínio linear e causal entre uma área e uma função. Além disso, essa linha de pensamento transmite a ideia que localizar significa explicar. Segundo Poeppel (2017, p. 21, itálico e parênteses do autor):

“A aplicação do *imperativo cartográfico* ao estudo das bases neurobiológicas do comportamento humano tem, com certeza, muitas consequências positivas, bem como algumas negativas. Um aspecto desse tipo de pesquisa que deve ser visto como positivo (como estratégia de pesquisa) é a adoção completa da postura monista e materialista implícita nas imagens cerebrais. O pressuposto central que motiva os estudos é que a mente e suas partes são instanciadas no tecido nervoso. Portanto, as imagens da atividade neuronal que são geradas são, na verdade, imagens da mente em funcionamento. Até que ponto essa estratégia de pesquisa é bem-sucedida, ainda não se sabe. Deve-se dizer, no entanto, que um progresso substancial está sendo feito ao assumir tal filosofia experimental antidualista. Por exemplo, não há dúvida de que a pesquisa revelou muito sobre a base cerebral da percepção visual, o papel da emoção no processamento sensorial, reconhecimento de fala e assim por diante. No entanto, uma consequência mais problemática e presumivelmente negativa é a noção de que a localização em um mapa é um resultado *suficiente* e, até certo ponto, que a localização é uma explicação”⁵⁰⁹.

⁵⁰⁹ Trecho original: “The application of the *cartographic imperative* to the study of the neurobiological basis of human behavior has, to be sure, many positive as well as some negative consequences. One aspect of this type of research that should be viewed as positive (as a research strategy) is the complete adoption of the monistic and materialistic stance implicit in brain imaging. The central assumption motivating the studies is that the mind and its parts are instantiated in nervous tissue. Therefore, the images of neuronal activity that are generated are in fact images of the mind at work. To what extent this research strategy is successful remains to be seen. It must be said, however, that substantial progress is being made by assuming such an anti-dualist experimental philosophy. For example, there is no doubt that research has revealed a great deal about the brain basis of visual perception, the role of emotion in sensory processing, speech recognition, and so on. However, a more problematic, and presumably negative, consequence is the notion that localization on a map is a *sufficient* result, and to some extent that localization is explanation”.

A maioria dos trabalhos em neurociências assim como materiais de divulgação não científico como colunas de jornais, blogs ou sites de notícias também assumem e reproduzem uma explicação localizacionista. O espírito da época aparece na seguinte capa da revista científica *Nature*, cujo o título da chamada é: “O cérebro redefinido. Um mapa atualizado do córtex cerebral humano identifica 180 regiões cerebrais distintas por hemisfério”⁵¹⁰.

Figura 80 - Capa da revista Nature.

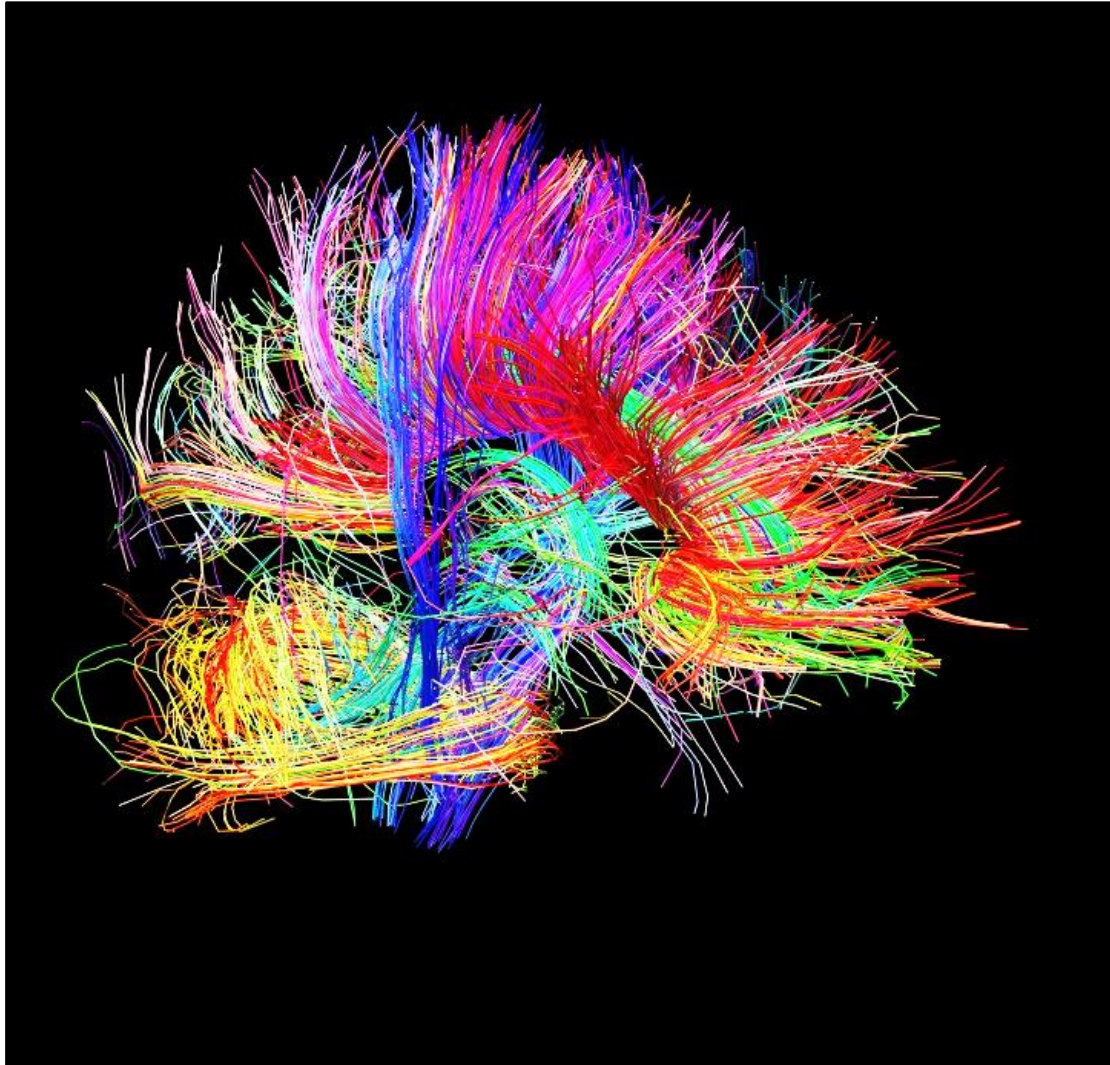


Fonte: Capa da revista Nature, vol. 536, n° 7615, agosto de 2016.

⁵¹⁰ Trecho original: “The brain redefined. An updated map of the human cerebral córtex identifies 180 distinct brain regions per hemisphere”.

Até mesmo os mapas digitais de alta resolução produzidos pelo Projeto Conectoma Humano permanecem vinculados à perspectiva localizacionista dos substratos neurobiológicos da cognição. A ideia geral é que ao conhecer todas as conexões do SNC será possível descobrir como a mente humana funciona (Seung, 2012). Em poucas palavras a intenção é “[...] mapear tudo — e conectar tudo”⁵¹¹ (Poeppel, 2012, p. 44).

Figura 81 - Arquitetura dos fios das fibras brancas do encéfalo.



Fonte: Projeto Conectoma Humano⁵¹². A imagem produzida pela técnica do espectro de difusão revela o corpo caloso, cerebelo, tronco encefálico e fibras brancas que perpassam pelo encéfalo. As cores indicam a direção das fibras: vermelho (esquerda-direita), verde (ântero-posterior), azul (tronco cerebral).

⁵¹¹ Trecho original: “[...] map everything — and connect everything”.

⁵¹² Disponível em: <http://www.humanconnectomeproject.org/gallery/>. Acessado em: 24 dez. 2022.

Vale acrescentar a seguinte citação:

“O aparato científico subjacente à imagem cerebral confere o status de objetividade. [...] O fato é que não pode haver imagem objetiva da mente em ação. Ao contrário, toda imagem reflete uma série de predisposições teóricas, contingências técnicas, acidentes experimentais e pressuposições do observador. Em suma, a imagem cerebral, embora seja uma adição maravilhosa ao arsenal de métodos para avaliar a organização da mente/cérebro, não pode ser diferente em espécie de outras técnicas. A imagem gera dados, nem mais nem menos, e os dados só são utilizáveis e úteis na medida em que têm uma interpretação no contexto de uma teoria sobre como a mente é organizada”⁵¹³ (Poeppel, 2017, p. 22).

Apesar do volume crescente de dados oriundos principalmente de experimentos com neuroimagem é necessário desenvolver o conhecimento teórico para interpretar essas informações além da explicação localizacionista, causal e mecanicista. Além do mais, é preciso refletir criticamente sobre a noção de que dados neurobiológicos apresentam uma validade epistemológica superior por serem oriundas das ciências biológicas, ou seja, são conhecimentos empíricos que podem subtrair o valor teórico de outros campos do conhecimento como a psicologia ou a linguística. Nas palavras de Hawkins e Kandel (1984, p. 380), o interesse das pesquisas ilustra as “[...] tentativas de traduzir em termos neuronais ideias que foram propostas em um nível abstrato por psicólogos experimentais”⁵¹⁴. Segundo o etólogo Richard Dawkins⁵¹⁵:

“Se olharmos para o futuro de nossa ciência, o que significa dizer que ‘entendemos’ o mecanismo do comportamento? A resposta óbvia é o que pode ser chamado de nirvana do neurofisiologista: o diagrama de fiação completo do sistema nervoso de uma espécie, cada sinapse rotulada como excitatória ou inibitória; presumivelmente, também um

⁵¹³ Trecho original: “The scientific apparatus underlying the brain image confers the status of objectivity. [...] The fact of the matter is that there can be no objective image of the mind at work. Rather, every image reflects a range of theoretical predisposition, technical contingencies, experimental accidents, and observer presuppositions. In short, brain imaging, though a wonderful addition to the arsenal of methods to assess how the mind/brain is organized, can be no different in kind from other techniques. Imaging generates data, no more no less, and data are only usable and useful insofar as they have an interpretation in the context of a theory about how mind is organized”.

⁵¹⁴ Trecho original: “[...] attempts to translate into neuronal terms ideas that have been proposed at an abstract level by experimental psychologists”.

⁵¹⁵ Richard Dawkins, nascido em 1941.

gráfico, para cada axônio, dos impulsos nervosos em função do tempo durante o curso de cada padrão de comportamento”⁵¹⁶ (Dawkins, 1976, p. 7, aspas simples do autor).

É notório que ao pesquisar a correlação estrutural e funcional entre o cérebro e a cognição linguística é preciso recorrer a uma explicação pluralista, pois se trata de sistemas complexos multidimensionais. Quer dizer, o nível estrutural do cérebro exige um exame anatômico das células, além da análise da configuração das conexões neurais, juntamente com seu funcionamento neuroquímico e elétrico. O conhecimento sobre a natureza da linguagem requer um exame multifacetado da interface sensório-motor e intencional-conceitual, além da linguagem interna, ou seja, a representação linguística no nível mental. A importância de um equilíbrio contínuo entre o progresso empírico e o teórico é salientado pelo microbiologista Carl Woese (1928 – 2012)⁵¹⁷:

“A ciência é impulsionada por dois fatores principais, o avanço tecnológico e uma visão orientadora (visão geral). Uma relação devidamente equilibrada entre os dois é a chave para o sucesso do desenvolvimento de uma ciência: sem os devidos avanços tecnológicos, o caminho está bloqueado. Sem uma visão orientadora, não há estrada à frente; a ciência torna-se uma disciplina de engenharia, preocupada com problemas práticos temporais”⁵¹⁸ (Woese, 2004, p. 173, parênteses do autor).

O interesse em pesquisar, compreender e explicar sistemas multidimensionais como a cognição, o comportamento ou os mecanismos sensoriais motiva a muito tempo a elaboração de diferentes abordagens metodológicas. Aristóteles por exemplo sugeriu quatro tipos de perguntas que podem orientar a investigação causal. Em relação ao nível material a questão é por que algo muda? No vértice formal é preciso saber o que é pra ser? No quesito

⁵¹⁶ Trecho original: “If we look far into the future of our science, what will it mean to say we ‘understand’ the mechanism of behaviour? The obvious answer is what may be called the neurophysiologist’s nirvana: the complete wiring diagram of the nervous system of a species, every synapse labelled as excitatory or inhibitory; presumably, also a graph, for each axon, of nerve impulses as a function of time during the course of each behaviour pattern”.

⁵¹⁷ Carl Woese, nascido em 1928, falecido em 2012.

⁵¹⁸ Trecho original: “Science is impelled by two main factors, technological advance and a guiding vision (overview). A properly balanced relationship between the two is key to the successful development of a science: without the proper technological advances the road ahead is blocked. Without a guiding vision there is no road ahead; the science becomes an engineering discipline, concerned with temporal practical problems”.

eficiência é necessário entender o que produz? Em relação ao resultado do fenômeno a pergunta é para que isso serve? Além do filósofo grego o etologista neerlandês Nikolaas Tibergeren⁵¹⁹, também propôs quatro direções de investigação científica sobre a natureza de fenômenos complexos como o comportamento. Segundo a perspectiva de Tibergeren, para estudar o comportamento é preciso reconhecer os mecanismos, assim como as funções, juntamente com a ontogenia e por fim considerar sua evolução. Além deles, o neurocientista e psicólogo David Marr (1945 – 1980), elaborou a “Teoria Computacional”⁵²⁰ (1982) para pesquisar e explicar sistemas psicofísicos como a visão. Descrevendo em poucas palavras, Marr queria entender como um estímulo visual é processado neurobiologicamente e representado virtualmente. Ao comparar o cérebro com um computador ele fez o seguinte comentário:

“Em certo sentido, é claro, o cérebro é um computador, mas dizer isso sem qualificação é enganoso, porque a essência do cérebro não é simplesmente ser um computador, mas ser um computador que tem o hábito de realizar alguns cálculos bastante particulares. O termo *computador* geralmente se refere a uma máquina com um tipo de conjunto de instruções bastante padrão que geralmente é executado em série, mas hoje em dia às vezes em paralelo, sob o controle de programas que foram armazenados em uma memória do que é feito, como é montado, qual é o seu conjunto de instruções, quanta memória tem e como é acessado e como a máquina pode ser feita para funcionar. Mas isso representa apenas uma pequena parte da compreensão de um computador que está executando uma tarefa de processamento de informações. [...] Assim, o ponto crítico é que entender computadores é diferente de entender computação [cálculos]. Para entender um computador, é preciso estudar esse computador. Para entender uma tarefa de processamento de informações, é preciso estudar essa tarefa de processamento de informações. Para compreender completamente uma determinada máquina realizando uma determinada tarefa de processamento de informações, é preciso fazer as duas coisas. Nenhum deles sozinho será suficiente”⁵²¹ (Marr, 2010, p. 5, *itálico do autor*).

⁵¹⁹ Nikolaas Tibergeren, nascido em 1907, falecido em 1988.

⁵²⁰ Título original: “Computational Theory”.

⁵²¹ Trecho original: “In a sense, of course, the brain is a computer, but to say this without qualification is misleading, because the essence of the brain is not simply that it is a computer but

No artigo intitulado “Da compreensão da computação à compreensão dos circuitos neurais”⁵²² (Marr e Poggio, 1976), produzido durante o período em que Marr trabalhou no “Laboratório de Inteligência Artificial do Instituto de Tecnologia do Massachussets”⁵²³, os autores sugerem que:

“Sistemas complexos, como um sistema nervoso ou um embrião em desenvolvimento, devem ser analisados e compreendidos em vários níveis diferentes. Claro, existem relações lógicas e causais entre eles, mas o ponto importante é que esses níveis de descrição são apenas vagamente relacionados”⁵²⁴ (Marr e Poggio, 1976, p. 2).

Marr propõe que o primeiro nível expressa a natureza da computação, ou seja, sua representação virtual ou abstrata. Segundo ele, apesar do nível computacional ser importante ainda é pouco conhecido.

“[...] o poder real da abordagem reside na integração de todos os três níveis de ataque – mas porque é um nível de explicação que não foi previamente reconhecido e posto em prática. É, portanto, provavelmente uma das idéias mais difíceis de entender para os recém-chegados ao campo”⁵²⁵ (Marr, 2010, p. 330).

O segundo nível chamado algoritmo subjaz o computacional. Traduzindo para o vocabulário neurocientífico o algoritmo corresponde ao comportamento de uma única célula neural ou de uma rede. São os processos excitatórios ou inibitórios, assim como o estado inicial, isto é, o potencial de repouso de um

that it is a computer which is in the habit of performing some rather particular computations. The term *computer* usually refers to a machine with a rather standard type of instruction set that usually runs serially but nowadays sometimes in parallel, under the control of programs that have been stored in a memory. In order to understand such a computer, one needs to understand what it is made of, how it is put together, what its instruction set is, how much memory it has and how it is accessed, and how the machine may be made to run. But this forms only a small part of understanding a computer that is performing an information-processing task. [...] Thus the critical point is that understanding computers is different from understanding computations. To understand a computer, one has to study that computer. To understand an information-processing task, one has to study that information-processing task. To understand fully a particular machine carrying out a particular information-processing task, one has to do both things. Neither alone will suffice”.

⁵²² Título original: “From understanding computation to understanding neural circuitry”.

⁵²³ Título original: “Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory”.

⁵²⁴ Trecho original: “Complex systems, like a nervous system or a developing embryo, must be analyzed and understood at several different levels. Of course, there are logical and causal relationships among them, but the importante point is that these levels of description are only loosely related”.

⁵²⁵ Trecho original: “[...] the real power of the approach lies in the integration of all three levels of attack-but because it is a level of explanation that has not previously been recognized and acted upon. It is therefore probably one of the most difficult ideas for newcomers to the field to grasp”.

neurônio ou de uma rede. Os cálculos do(s) algoritmo(s) realizados em redes neurais operam com os valores dos parâmetros de fluxos de sinais que podem ser representados em forma de operações matemáticas. Marr explicou o termo operar com a seguinte nota de rodapé descrita em sua obra: “*Operador* refere-se a um cálculo local a ser aplicado em cada local da imagem, fazendo uso da intensidade ali e nas imediações”⁵²⁶ (Marr, 2010, p. 16, itálico do autor). Em busca de uma explicação mais objetiva recorreremos ao dicionário *Michaelis* para conhecer a definição da palavra algoritmo:

“1 [Matemática], Sistema de notação aritmética com algarismos arábicos. 2, Processo de cálculo que, por meio de uma sequência finita de regras, raciocínios e operações, aplicada a um número finito de dados, leva à resolução de grupos análogos de problemas. 3, Operação ou processo de cálculo; sequência de etapas articuladas que produz a solução de um problema; procedimento sequenciado que leva ao cumprimento de uma tarefa. 4 [Lógica], Conjunto das regras de operação (conjunto de raciocínios) cuja aplicação permite resolver um problema enunciado por meio de um número finito de operações; pode ser traduzido em um programa executado por um computador, detectável nos mecanismos gramaticais de uma língua ou no sistema de procedimentos racionais finito, utilizado em outras ciências, para resolução de problemas semelhantes. 5 [Informática], Conjunto de regras e operações e procedimentos, definidos e ordenados usados na solução de um problema, ou de classe de problemas, em um número finito de etapas” (Dicionário Michaelis, 2022)⁵²⁷.

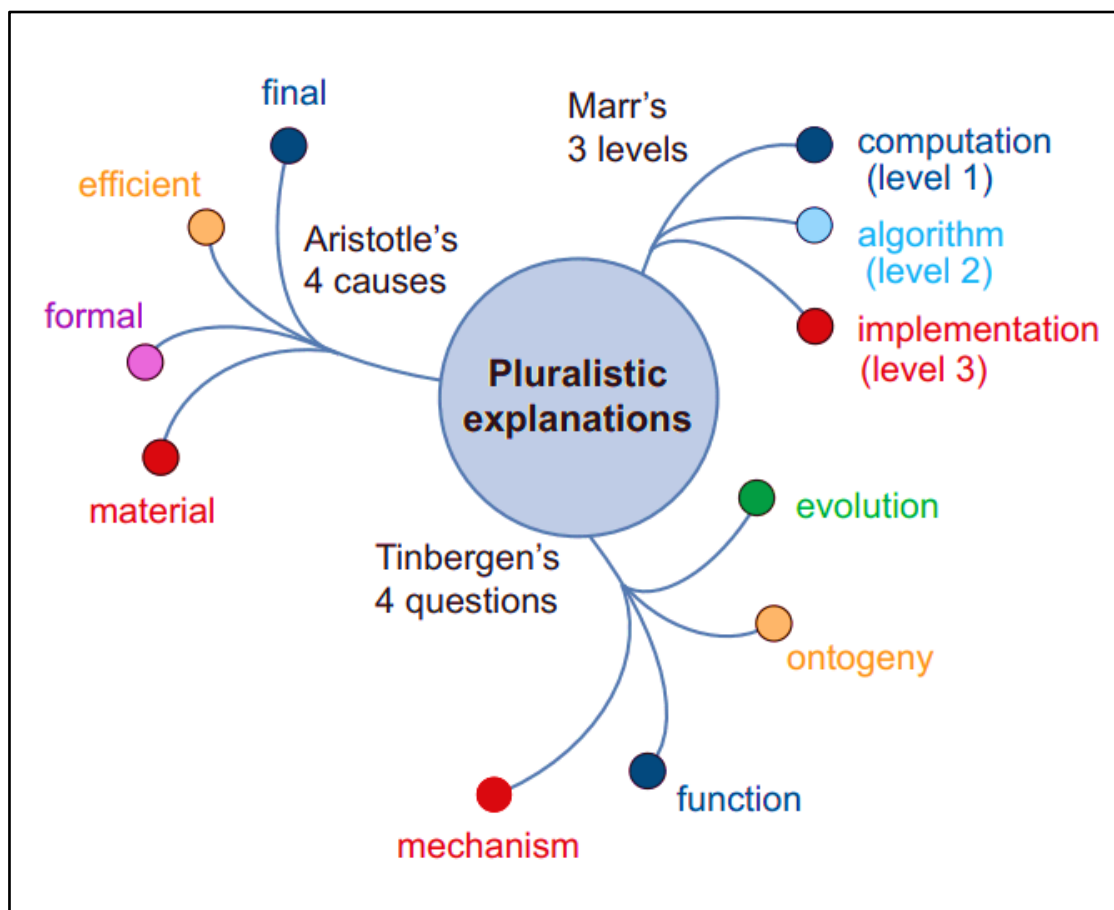
O terceiro e último nível é o implementacional e concerne à esfera neuroanatômica ou ao substrato neurológico de um sistema computacional como a linguagem. Ou seja, é o nível orgânico do tecido cerebral onde estão enterrados ou melhor implementados as células neurais. De modo sucinto, apesar dos termos empregados por Marr serem oriundos das pesquisas em inteligência artificial, podemos compreender que o nível computacional alude ao vértice mental ou cognitivo. O nível algorítmico representa o comportamento funcional das células neurais que são identificadas no nível implementacional,

⁵²⁶ Trecho original: “*Operator* refers to a local calculation to be applied at each location in the image, making use of the intensity there and in the immediate vicinity”.

⁵²⁷ Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/4ID9/algoritmo/>. Acessado em: 28 dez. 2022.

ou seja, no tecido orgânico do cérebro. A seguinte imagem ilustra as abordagens elaboradas pelos autores para pesquisar, conhecer e explicar a natureza estrutural e funcional de sistemas complexos multidimensionais.

Figura 82 - Ramificações da explicação pluralista.



Fonte: Krakauer et al., (2017, p. 488). As abordagens de investigação objetivam explicar as múltiplas dimensões de sistemas complexos que perpassam pela configuração estrutural e funcional da cognição, do comportamento e dos mecanismos sensoriais.

Ao estudar a percepção visual Marr observou que “O princípio central da abordagem é que, para entender o que é a visão e como ela funciona, uma compreensão de apenas um nível é insuficiente”⁵²⁸ (Marr, 2010, p. 329). No livro intitulado “Visão. Uma Investigação Computacional sobre a Representação Humana e o Processamento de Informações Visuais”⁵²⁹, publicado em 1982, Marr sugere três níveis de explicação que devem considerar diferentes dados empíricos e pressupostos teóricos. O nível computacional alude a representação

⁵²⁸ Trecho original: “The central tenet of the approach is that to understand what vision is and how it works, an understanding at only one level is insufficient”.

⁵²⁹ Título original: “Vision. A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information”.

virtual do sistema, ou seja, a manifestação e o desempenho das faculdades cognitivas e dos sistemas sensoriais. Marr esclarece que “Uma representação é um sistema formal para explicitar certas entidades ou tipos de informações, junto com uma especificação de como o sistema faz isso”⁵³⁰ (Ibidem, 2010, p. 20). Esse nível precisa responder a perguntas do seguinte tipo: o que o dispositivo faz? O que está sendo computado e por quê? Em seguida é necessário pesquisar o fluxo de sinais no cérebro que correspondem ao nível algoritmo onde ocorrem “[...] a escolha da representação da entrada e da saída e o algoritmo a ser usado para transformar uma na outra”⁵³¹ (Ibidem, 2010, p. 24 - 25). Marr sugere que um mesmo algoritmo pode realizar diferentes funções, assim como pode ser mais eficiente que outro. Aliás, “Alguns estilos de algoritmo se adequarão melhor a alguns substratos físicos do que outros”⁵³² (Ibidem, 2010, p. 24). E dependendo do tipo de informação incorporada as sequências de instruções dos algoritmos podem ocorrer em paralelo, serial, ou de forma cooperativa. Esse nível deve explicar como o fluxo de sinais nos circuitos neurais, assim como em células unitárias processam informações de um sistema computacional. De acordo com Marr, “Devemos primeiro ter certeza de que nossas representações e algoritmos são sensatos, robustos e apoiados por evidências psicofísicas. Então podemos mergulhar na neurofisiologia”⁵³³ (Ibidem, 2010, p. 343). O pesquisador está se referindo ao terceiro nível, ou seja, o implementacional que corresponde ao tecido orgânico do cérebro. Segundo a perspectiva teórica de Marr, podemos assumir que a localização dos substratos neurais da linguagem, assim como a identificação topográfica dos NE remetem ao nível implementacional. A pergunta norteadora desse nível é “Como a representação e o algoritmo podem ser realizados fisicamente?”⁵³⁴ (Ibidem, 2010, p. 25). Segundo Marr:

“A neuroanatomia, por exemplo, está claramente ligada principalmente ao terceiro nível, a realização física da computação. O mesmo vale

⁵³⁰ Trecho original: “A representation is a formal system for making explicit certain entities or types of information, together with a specification of how the system does this”.

⁵³¹ Trecho original: “[...] the choice of representation for the input and output and the algorithm to be used to transform one into the other”.

⁵³² Trecho original: “Some styles of algorithm will suit some physical substrates better than others”.

⁵³³ Trecho original: “We should first be sure that our representations and algorithms are sensible, robust, and supported by psychophysical evidence. Then we can delve into the neurophysiology”.

⁵³⁴ Trecho original: “How can the representation and algorithm be realized physically?”

para mecanismos sinápticos, potenciais de ação, interações inibitórias e assim por diante. A neurofisiologia também está relacionada principalmente a esse nível, mas também pode nos ajudar a entender o tipo de representação que está sendo usada [...]. Mas é preciso ter extremo cuidado ao fazer inferências a partir de achados neurofisiológicos sobre os algoritmos e representações que estão sendo usados, particularmente até que se tenha uma ideia clara sobre quais informações precisam ser representadas e quais processos precisam ser implementados”⁵³⁵ (Ibidem, 2010, p. 26).

Apesar do *zeitgeist* das pesquisas em neurolinguística recorrer a explicação causal sobre as bases neurobiológicas da linguagem ou os circuitos neurais recrutados para o processamento de informações fonéticas, semânticas e sintáticas é preciso conhecer e explicar o fluxo de sinais que alude ao nível algoritmo e como são representados no nível computacional. Portanto, o raciocínio causal e linear entre o cérebro e uma função precisa ser decomposto ao menos em outro nível de análise. Afinal, mesmo localizando os substratos neurais de um sistema computacional como a linguagem o nível implementacional não é inteiramente conhecido:

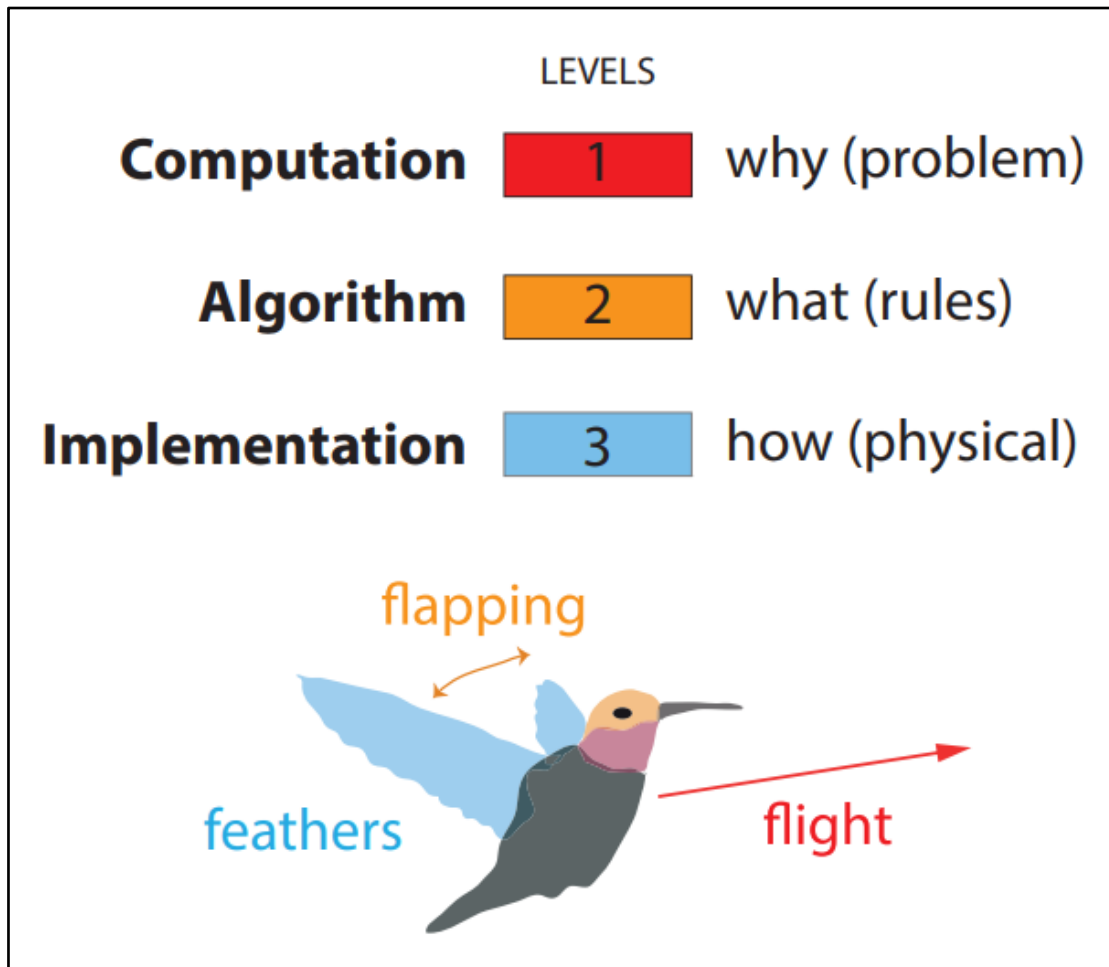
“Seria bom poder dar regras gerais sobre processos no terceiro nível de análise, o nível de implementação neural. Infelizmente, apenas algumas teorias de processo foram desenvolvidas a ponto de propor implementações neurais específicas, e nenhuma dessas implementações foi confirmada experimentalmente em todos os detalhes, portanto ainda não estamos em posição de formular tais regras”⁵³⁶ (Ibidem, 2010, p. 107).

535 Trecho original: “Neuroanatomy, for example, is clearly tied principally to the third level, the physical realization of the computation. The same holds for synaptic mechanisms, action potentials, inhibitory interactions, and so forth. Neurophysiology, too, is related mostly to this level, but it can also help us to understand the type of representations being used [...]. But one has to exercise extreme caution in making inferences from neurophysiological findings about the algorithms and representations being used, particularly until one has a clear idea about what information needs to be represented and what processes need to be implemented”.

536 Trecho original: “It would be nice to be able to give general rules about processes at the third level of analysis, the level of neural implementation. Unfortunately, only a few process theories have been developed to the point where specific neural implementations have been proposed, and none of these implementations have been confirmed experimentally in every detail so we are not yet in a position to formulate such rules”.

A seguinte imagem ilustra os três níveis a serem analisados e compreendidos sobre a natureza organizacional e funcional de sistemas complexos:

Figura 83 - Três níveis de análise e explicação de sistemas complexos.



Fonte: Krakauer et al., (2017, p. 483). Para examinar e compreender a organização estrutural e funcional dos mecanismos que subjazem o vôo do Beija-flor é preciso identificar e examinar no nível implementacional, ou seja, neuroanatomico quais células neurais são recrutadas durante o bater das asas, além da localização cortical é preciso analisar a estrutura anatômica desses neurônios, juntamente com as configurações de suas conexões sinápticas. Em seguida é importante saber quais são as regras funcionais computadas por esses neurônios. Quer dizer, no nível algoritmo a investigação tem como objetivo conhecer e explicar como as células do nível implementacional funcionam, seus padrões de disparo excitatório, inibitório e de repouso, antes, durante e depois do vôo. Por fim, a questão é desvendar a natureza do sistema computacional do vôo do Beija-flor. Logo a questão é saber por que esse sistema (essa forma de voar) e não outro(s)? O exame do nível computacional perpassa pela investigação sobre quais problemas de movimento são solucionados.

É interessante notar que ao separar a explicação em diferentes níveis Marr não restringe sua abordagem metodológica a simples descrição de sistemas complexos de processamento de informações. Ao refletir sobre sua teoria ele escreve que “A observação chave é que a neurofisiologia e a

psicofísica têm por objetivo *descrever* o comportamento das células ou dos sujeitos, mas não *explicar* tal comportamento”⁵³⁷ (Ibidem, 2010, p. 15, itálico do autor). Marr chama a atenção para o seguinte ponto:

“Cada um dos três níveis de descrição terá seu lugar na compreensão final do processamento de informações perceptivas e, é claro, eles estão relacionados lógicamente e causalmente. Mas um ponto importante a ser observado é que, uma vez que os três níveis são apenas vagamente relacionados, alguns fenômenos podem ser explicados em apenas um ou dois deles. Isso significa, por exemplo, que uma explicação correta de alguma observação psicofísica deve ser formulada no nível apropriado. Nas tentativas de relacionar os problemas psicofísicos com a fisiologia, muitas vezes há confusão sobre o nível em que os problemas devem ser abordados”⁵³⁸ (Ibidem, 2010, p. 25).

Nesse sentido, vale pensar na interpretação de que os NE são recrutados mediante o processamento de informações fonéticas e semânticas como constatado pela revisão sistemática. Assim como na concepção de que a ativação do circuito de NE mediante estímulos ou tarefas linguísticas alude aos substratos neurobiológicos da linguagem. Parece claro que se trata de explicações de certo modo grosseiras, pois o que realmente foi identificado é a localização neuroanatômica dessas células mediante experimentos neurolinguísticos. Portanto, a descrição estrutural dos NE precisa ser formulada no terceiro nível de explicação, ou seja, o implementacional, enquanto seu funcionamento remete ao exame do nível algorítmico, e por fim, seu papel representado no nível computacional. De acordo com Marr:

“De modo mais geral, se a ideia de que fenômenos diferentes precisam ser explicados em níveis diferentes for mantida com clareza, isso geralmente ajuda na avaliação da validade dos diferentes tipos de

537 Trecho original: “The key observation is that neurophysiology and psychophysics have as their business to describe the behavior of cells or of subjects but not to explain such behavior”.

538 Trecho original: “Each of the three levels of description will have its place in the eventual understanding of perceptual information processing, and of course they are logically and causally related. But an important point to note is that since the three levels are only rather loosely related, some phenomena may be explained at only one or two of them. This means, for example, that a correct explanation of some psychophysical observation must be formulated at the appropriate level. In attempts to relate psychophysical problems to physiology, too often there is confusion about the level at which problems should be addressed”.

objeções que são levantadas de tempos em tempos”⁵³⁹ (Ibidem, 2010, p. 27).

Portanto, a linguagem deve ser pesquisada, compreendida e explicada em níveis separados, pois se trata de um sistema multidimensional, visto que sua natureza estrutural e funcional perpassa pelo corpo (interface sensório-motora; intencional-conceitual) e pela mente (interface lógica ou simplesmente Merge). Partindo de um raciocínio abrangente Marr sugere que:

“Embora algoritmos e mecanismos sejam empiricamente mais acessíveis, é o nível superior, o nível da teoria computacional que é criticamente importante do ponto de vista do processamento de informações. A razão para isso é que a natureza dos cálculos subjacentes à percepção depende mais dos problemas computacionais que devem ser resolvidos do que do hardware específico no qual suas soluções são implementadas. Para colocar a questão de outra forma, é provável que um algoritmo seja entendido mais facilmente pela compreensão da natureza do problema que está sendo resolvido do que pelo exame do mecanismo (e do hardware) no qual ele está incorporado”⁵⁴⁰ (Ibidem, 2010, p. 27, parênteses do autor).

Tal perspectiva salienta a importância de refletir criticamente sobre a concepção de que dados neurocientíficos possuem uma validade epistemológica superior por serem oriundas das ciências biológicas, ou seja, são informações empíricas que intentam erroneamente diminuir o valor teórico de outros campos do conhecimento como a linguística ou a psicologia. A propósito cabe acrescentar a seguinte citação:

“Um exemplo mais concreto dos problemas que surgem se dados neurais são usados para inferir um processo psicológico vem dos debates sobre a relevância comportamental dos “neurônios-espelho”. [...] Essa tendência de atribuir propriedades psicológicas à atividade de

539 Trecho original: “More generally, if the idea that different phenomena need to be explained at different levels is kept clearly in mind, it often helps in the assessment of the validity of the different kinds of objections that are raised from time to time”.

540 Trecho original: “Although algorithms and mechanisms are empirically more accessible, it is the top level, the level of computational theory, which is critically important from an information-processing point of view. The reason for this is that the nature of the computations that underlie perception depends more upon the computational problems that have to be solved than upon the particular hardware in which their solutions are implemented. To phrase the matter another way, an algorithm is likely to be understood more readily by understanding the nature of the problem being solved than by examining the mechanism (and the hardware) in which it is embodied”.

um único neurônio que só pode ser atribuída de forma sensata a um organismo se comportando por inteiro é conhecida como falácia mereológica - uma falácia pela qual nós, neurocientistas, continuamos a cair, embora saibamos disso desde o *De anima* de Aristóteles”⁵⁴¹ (Krakauer et al., 2017, p. 483, aspas e itálico do autor).

Quer dizer, os dados obtidos pelos experimentos em neurolinguística servem principalmente para descrever fenômenos do nível implementacional e algoritmo e mesmo assim não são suficientes para explicar seu papel no nível computacional. Portanto, não faz sentido reduzir a cognição linguística ao funcionamento dos NE, pois seria uma falácia mereológica. De acordo com Marr:

“Da mesma forma, tentar entender a percepção estudando apenas os neurônios é como tentar entender o voo de um pássaro estudando apenas as penas: simplesmente não pode ser feito. Para entender o voo das aves, temos que entender a aerodinâmica; só então a estrutura das penas e as diferentes formas das asas das aves fazem sentido”⁵⁴² (Ibidem, 2010, p. 27).

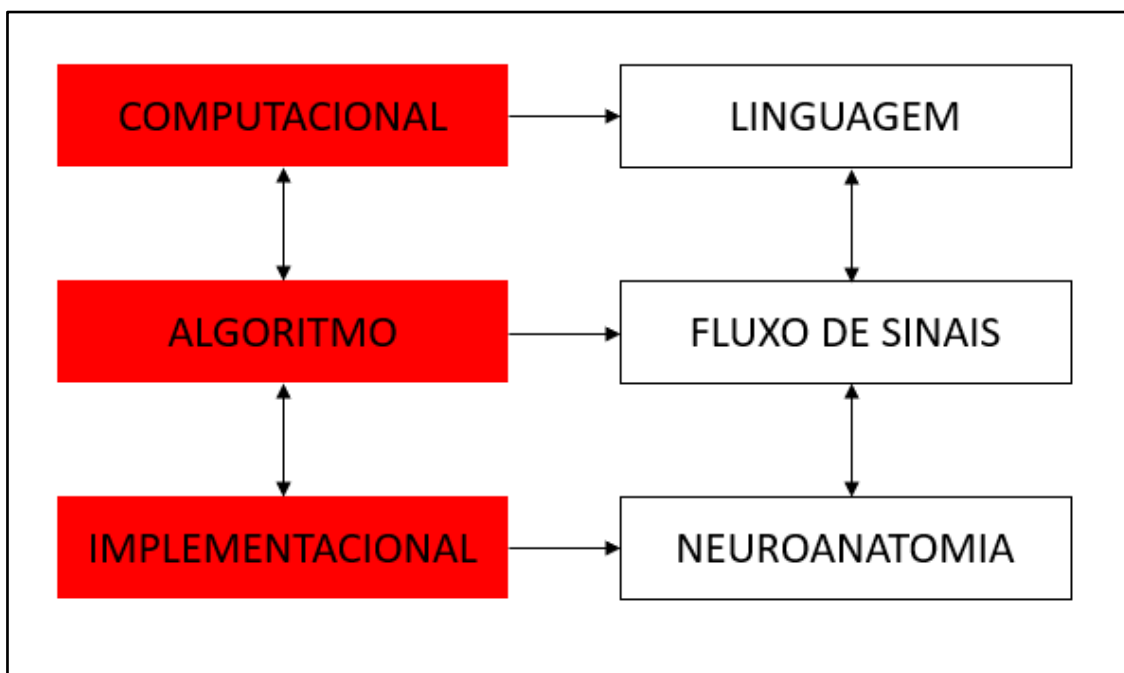
Parafraseando a citação: tentar entender a linguagem estudando apenas os NE é como tentar entender o voo de um pássaro estudando apenas as penas: simplesmente não pode ser feito. Em suma, a investigação científica sobre a linguagem deve ser abrangente, isso significa que dados empíricos e modelos teóricos de diferentes campos do conhecimento precisam ser articulados nos níveis apropriados de análise, compreensão e explicação. Afinal, “Uma imagem vale mais que mil palavras – exceto se essas mil palavras contiverem uma teoria detalhada do domínio em questão”⁵⁴³ (Poeppel, 2017, p. 29).

541 Trecho original: “A more concrete example of the problems that arise if neural data are used to infer a psychological process comes from the debates regarding the behavioral relevance of “mirror neurons.” [...] This tendency to ascribe psychological properties to single neuron activity that can only be sensibly ascribed to a whole behaving organism is known as the mereological fallacy—a fallacy that we neuroscientists continue to fall for even though we’ve known about it since Aristotle’s *De Anima*”.

542 Trecho original: “In a similar vein, trying to understand perception by studying only neurons is like trying to understand bird flight by studying only feathers: It just cannot be done. In order to understand bird flight, we have to understand aerodynamics; only then do the structure of feathers and the different shapes of birds’ wings make sense”.

543 Trecho original: “A Picture is worth a thousand words – except if those thousand words contain a detailed theory of the domain in question”.

Figura 84 - Níveis da Teoria Computacional de Marr aplicados à pesquisa em neurolinguística.



Fonte: Produção do próprio autor. Examinando o esquema de baixo para cima temos o nível implementacional que corresponde a base neuroanatômica, nesse caso os substratos neurais da linguagem. Em seguida está o nível algoritmo que representa o comportamento das redes neurais ou de uma célula unitária, quer dizer, seu padrão de funcionamento. No topo está o nível computacional que alude a natureza do sistema computacional da linguagem, ou seja, sua representação cognitiva.

A partir da síntese sobre a Teoria Computacional elaborada por Marr, o exame sobre a organização estrutural e funcional dos NE e sua correlação com o sistema computacional da linguagem podem ser reinterpretados. O primeiro *insight* emerge do pressuposto que existem níveis de análise, compreensão e explicação que devem ser considerados nas pesquisas neurocientíficas sobre a linguagem. Nessa perspectiva fica claro que não é apenas a localização espacial dos NE na área de Broca ou em outras regiões que justifica sua correlação com a linguagem. Ou seja, não basta vincular ou atribuir o funcionamento de uma área de acordo com o estímulo recebido ou produzido. De acordo com Poeppel:

“É provável que essa postura esteja correta *em parte*, mas, na melhor das hipóteses, refletirá um entendimento incompleto; incontroversamente, localização e mapeamento espacial não são explicações”⁵⁴⁴ (Poeppel, 2012, p. 35, *itálico do autor*).

544 Trecho original: “This stance is likely to be correct in part, but at best will reflect an incomplete understanding; uncontroversially, localization and spatial mapping are not explanation”.

Vale lembrar que ao examinar dados *online* de um experimento neurolinguístico utilizando fMRI, o pesquisador tem a sua disposição imagens computadorizadas do encéfalo, do cérebro ou de regiões específicas do córtex do participante ou do paciente. Essas imagens revelam as áreas ativadas durante a(s) tarefa(s) linguística(s). Portanto, é possível constatar o funcionamento de grupos de neurônios e até reconhecer células com características funcionais de NE na área de Broca ou em suas subáreas, BA 44 ou BA 45. No entanto, a interpretação desses dados é mais descritiva que explicativa, pois o que está sendo analisado é a relação causal entre um estímulo ou exercício linguístico e a identificação espacial de uma resposta neural. Segundo Poeppel:

“[...] apesar de qualquer progresso técnico, é bastante claro que generalizações do tipo “a região de Broca suporta a sintaxe” ou “a região de Broca suporta o processamento hierárquico” ou “a região de Broca sustenta a memória de trabalho verbal” são idealizações ou simplificações que não são apenas insuficientes, mas possivelmente enganosa”⁵⁴⁵ (Ibidem, 2012, p. 40, aspas do autor).

Nesse sentido, é como se ocorresse um salto do nível de explicação implementacional para o nível computacional sem passar pelo nível intermediário do algoritmo. De acordo com Krakauer e colaboradores (2017, p. 487 – 488, parênteses e aspas do autor):

“A neurociência tem se concentrado ultimamente nos circuitos neurais. Isso se deve em grande parte ao recente desenvolvimento e incorporação de técnicas que permitem tanto a manipulação causal quanto a rápida aquisição de grandes quantidades de dados. Parece haver uma suposição implícita de que a descrição em nível de implementação não apenas permitirá reivindicações causais, mas também, de alguma forma, levará ao entendimento algorítmico e computacional (emergência “ingênua”). Afirmamos que tal abordagem simplesmente não produzirá o tipo de insight e explicação que, em última análise, exigimos das neurociências, pelo menos daquelas partes preocupadas com o desenvolvimento de uma compreensão da

545 Trecho original: “[...] notwithstanding any technical progress, it is quite clear that generalizations of the type “Broca’s region supports syntax” or “Broca’s region supports hierarchical processing” or “Broca’s region underpins verbal working memory” are idealizations or simplifications that are not just insufficient but possibly misleading”.

ligação entre o cérebro e o comportamento que vai além das alegações de causalidade”⁵⁴⁶.

Portanto, assumir que os NE correspondem ao substrato neurobiológico da fonética ou da semântica não explica muita coisa, pois é preciso reconhecer as operações no nível algoritmo e seu papel no vértice computacional. Em suma, a localização espacial dessa classe de neurônios pode ser analisada e compreendida no nível implementacional, logo, sua explicação deve ser formulada com base no exame neuroanatômico que precisa esclarecer questões sobre a estrutura morfológica dos NE, a camada cortical onde estão enterrados, além da configuração de suas conexões dendríticas e sinápticas. Apesar disso é preciso aprofundar as pesquisas pois “O imperativo cartográfico não basta. É a compreensão mecanicista da *função* que buscamos, e isso não será tratável apenas pela localização da função e pelo mapeamento topográfico espacial”⁵⁴⁷ (Poeppel, 2012, p. 38, itálico do autor).

A compreensão funcional dos NE no nível algoritmo pode viabilizar um segundo *insight*. Portanto, é preciso pesquisar e explicar empiricamente tanto o comportamento de um único NE assim como seu funcionamento em rede para reconhecer os parâmetros e valores do fluxo de sinais computados por essas células neurais. Um ponto importante a ser pensado é como decifrar o(s) código(s) desses disparos, afinal são apenas sinais elétricos. A investigação sobre os cálculos matemáticos realizados pelos NE durante o processamento *online* de informações linguísticas pode ser orientada pela seguinte pergunta: como e quais regras computacionais governam o(s) fluxo(s) de informações que perpassam por essas células neurais? A propósito, Bever e Poeppel (2010, p. 187) sugerem que é necessário encontrar o algoritmo estrito e “[...] computacionalmente explícito para os neurônios-espelho especialmente aqueles

546 Trecho original: “Neuroscience has been focused of late on neural circuits. This is largely due to the recent development and incorporation of techniques that allow both causal manipulation and the rapid acquisition of large amounts of data. There seems to be an implicit assumption that implementation-level description will not only allow causal claims but also somehow lead to algorithmic and computational understanding (“naive” emergence). We contend that such an approach is simply not going to yield the kind of insight and explanation that we ultimately demand from the neurosciences, at least those parts concerned with developing an understanding of the link between brain and behavior that goes beyond causality claims”.

547 Trecho original: “The cartographic imperative does not suffice. It is the mechanistic understanding of the function that we seek, and that is not going to be tractable by localization of function and spatial topographic mapping alone”.

documentados para a cognição auditiva”⁵⁴⁸. Traduzindo para o vocabulário neurocientífico as pesquisas sobre o comportamento funcional dos NE têm a tarefa de analisar e compreender o padrão de disparos de potenciais de ação excitatórios, inibitórios assim como o potencial de repouso dessas células mediante o fluxo de informações linguísticas recebidas, representadas internamente e emitidas. Uma estratégia de pesquisa que pode motivar o segundo *insight* é a análise por síntese. De acordo com Bever e Poeppel:

“[...] os neurônios-espelho poderiam, talvez, ser adotados e adaptados para desempenhar um papel importante em como a análise por síntese é instanciada; no entanto, será importante encontrar um papel circunscrito, estreito e computacionalmente explícito. Invocar essas células para resolver tudo, desde a evolução até a improdutividade não é útil, mesmo que seja divertido.”⁵⁴⁹ (Ibidem, 2010, p. 187)

Curiosamente, no artigo intitulado “A teoria motora da percepção da fala revisada” (Lieberman e Mattingly, 1985), examinada no subcapítulo 3.4, os autores mencionam que o fluxo de sinais da percepção e da produção motora da fala podem ser pesquisados pela metodologia da análise por síntese. Apesar de ter sido elaborada como um modelo de investigação e solução de problemas computacionais relacionados ao reconhecimento e a síntese da fala por uma máquina, a análise por síntese pode ser adaptada para as pesquisas neurocientíficas sobre a produção e percepção da fala em humanos como sugere Poeppel e colaboradores, “[...] vemos a análise por síntese empregada como uma arquitetura computacional geral comum a todo o processo de reconhecimento”⁵⁵⁰ (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, p. 1079). Descrevendo de outra forma, a análise por síntese serve como um modelo de pesquisa para investigar como o nível algoritmo dos NE computa os sinais linguísticos de entrada, saída e sua representação virtual. Segundo Bever e Poeppel (2010, p. 174, aspas simples do autor):

548 Trecho original: “[...] computationally specific role for mirror neurons, especially those documented for auditory cognition”.

549 Trecho original: “[...] mirror neurons could, perhaps, be adopted and adapted to play an important role in how analysis-by-synthesis is instantiated; however, it will be important to find a circumscribed, narrow, computationally explicit role. Invoking these cells to solve everything from evolution to impotence is not helpful, even if amusing”.

550 Trecho original: “[...] we see analysis-by-synthesis employed as a general computational architecture common to the whole recognition process”.

“[...] a ‘análise por síntese’ (AxS), combina hipóteses sobre a entrada com a recriação computacional da entrada, como forma de combinar as contribuições da percepção e da reconstrução computacional”⁵⁵¹.

Apesar dessa estratégia de pesquisa ser aceitável concordamos com a seguinte afirmação de que o mesmo pode “[...] oferecer uma solução elegante e simples, mas os dados não obrigam ninguém apenas a essa visão”⁵⁵² (Ibidem, 2010, p. 187). Basicamente, a análise por síntese assume que o fluxo de sinais linguísticos incluindo os códigos acústicos da fala recebe um tratamento processual onde:

“Cada estágio de análise é realizado pela síntese de vários sinais ou padrões alternativos de acordo com as regras armazenadas na máquina [cérebro] e pela comparação dos padrões sintetizados com os sinais de entrada que estão sendo analisados”⁵⁵³ (Stevens, 1960, p. 47).

Quer dizer, as ondas mecânicas do som da fala penetram o cérebro pelos ouvidos interno onde passam a ser computadas como ondas elétricas que seguem por caminhos segregados e paralelos em diferentes regiões corticais que podem incluir a rota do circuito de NE. As áreas recrutadas podem ter suas próprias regras de processamento que correspondem aos algoritmos ou cálculos matemáticos realizados *online* nas redes neurais que vão computar os sinais linguísticos para serem representados no nível mental onde as informações linguísticas são percebidas como abstrações internas. Explicando de outra forma, o cérebro “[...] aceita uma onda de fala em sua entrada e gera uma sequência de símbolos fonéticos em sua saída; como um sintetizador, ele aceita uma sequência de símbolos em sua entrada e gera uma onda de fala”⁵⁵⁴ (Ibidem, 1960, p. 47). É importante mencionar que:

551 Trecho original: “[...] the ‘analysis by synthesis’ (AxS), combines hypotheses about the input with the computational re-creation of the input, as a way to combine the contributions of perception and computational reconstruction”.

552 Trecho original: “[...] one elegant and simple solution, but the data do not compel one to this view alone”.

553 Trecho original: “Each stage of analysis is performed by synthesis of a number of alternative signals or patterns according to rules stored within the machine and by comparison of the synthesized patterns with the input signals that are under analysis”.

554 Trecho original: “[...] accepts a speech wave at its input and generates a sequence of phonetic symbols at its output; as a synthesizer it accepts a sequence of symbols at its input and generates a speech wave”.

“A contribuição computacional específica de cada área ainda não é compreendida para tarefas onde/como na audição ou tarefas de percepção da fala. [...] Um desafio central para o campo é começar a formular hipóteses muito mais detalhadas sobre quais computações são executadas em cada uma dessas áreas, primeiro para percepção da fala e segundo para outras operações linguísticas e não linguísticas nas quais as computações mediadas por essas áreas participam de formas causais”⁵⁵⁵ (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, 1076).

Nesse sentido, é preciso analisar e conhecer a contribuição funcional dos NE mediante o *input* de sinais linguísticos recebidos, interiorizados e emitidos. Logo, além do conhecimento implementacional sobre essa classe de neurônios outra questão a ser examinada e respondida é o que essas células neurais realmente computam.

“Com base nas intuições de Marr (1982), vemos os processos de percepção e reconhecimento [da fala] como tendo uma série de etapas de baixo para cima e de cima para baixo. Não é uma "interação sutil" de etapas de alimentação e feedback que temos em mente, mas um cálculo mecânico (avançado) pouco *romântico* de candidatos perceptivos com base em etapas de síntese guiadas com muita precisão”⁵⁵⁶ [italico nosso] (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, p. 1074, aspas e parênteses do autor).

É curioso pensar que o *input* linguístico que entra no cérebro do falante/ouvinte passa sobretudo por dois processos de transformação. O primeiro alude aos mecanismos de transdução de ondas mecânicas para ondas elétricas e o segundo remete a transformação do fluxo de sinais em representações abstratas. O caminho inverso também é percorrido pelo *output* linguístico. Explicando a mesma ideia a partir da linguagem podemos compreender que a massa de ar emitida pela articulação motora dos órgãos da

555 Trecho original: “The specific computational contribution of each area is not yet understood for either where/how tasks in hearing or speech perception tasks. [...] A central challenge to the field is to begin to formulate much more detailed hypotheses about what computations are executed in each of these areas, first for speech perception and second for other linguistic and nonlinguistic operations in which the computations mediated by these areas participate in causal ways”.

556 Trecho original: “Building on the intuitions of Marr (1982), we see the perception and recognition processes as having a number of bottom-up and top-down steps. It is not a ‘subtle interplay’ of feed-forward and feedback steps that we have in mind, though, but a rather unromantic, mechanical (forward) calculation of perceptual candidates based on very precisely guided synthesis steps”.

fala chega aos ouvidos internos do receptor/emissor como ondas sonoras carregadas com códigos linguísticos que vão ser processados pelos circuitos neurais especializados na computação da linguagem. Apesar do som da fala entrar pelas vias neurais dos ouvidos internos o fluxo de sinais se espalha pelo cérebro e pelo tecido cortical por meio de caminhos segregados e paralelos que perpassam por diferentes regiões, dentre elas a área de Broca onde estão enterradas células com características funcionais de NE. Vale lembrar que segundo os pesquisadores de Parma esses neurônios com capacidades de processamento multimodal computam informações visuais, auditivas e motoras que colaboram com a representação de uma ação observada ou percebida. Seja dito de passagem, os cientistas italianos empregam o termo simulação ao invés de representação. Essa característica funcional dos NE computa a intenção de uma ação observada visualmente ou percebida auditivamente por meio da representação dos sinais de entrada em conjunto com os dados internalizados e o fluxo de saída. Cabe esclarecer que ao inferir que os NE computam a intenção de uma ação estamos supondo que essa rede de neurônios realiza cálculos probabilísticos sobre as possibilidades de interação entre as informações advindas do *input/output* sensorial em comparação com as informações interiorizadas que em conjunto participam da representação virtual do sinal. Por falar nisso:

“Um fluxo de pesquisa que tem sido produtivo e muito informado por dados de neurociência de sistemas e registro de unidade única é a noção de *codificação preditiva*. Agora está bem estabelecido que existe um aspecto preditivo robusto para a percepção visual; o sistema visual ‘espera ver’ formas específicas ou outros atributos visuais (movimento, cor, textura, etc.) e prevê propriedades dos alvos visuais *antecipados*. A codificação preditiva é observável nas propriedades de disparo neuronal dos neurônios em vários campos corticais visuais”⁵⁵⁷ (Bever e Poeppel, 2010, p. 188, itálico, aspas simples e parênteses do autor).

557 Trecho original: “One stream of research that has been productive and very informed by data from systems neuroscience and single unit recording is the notion of predictive coding. It is now well established that there is a robust predictive aspect to visual perception; the visual system ‘expects to see’ specific shapes or other visual attributes (motion, color, texture, etc.) and predicts properties of the anticipated visual targets. Predictive coding is observable in the neuronal firing properties of neurons in various visual cortical fields”.

De modo geral é preciso saber quando, como, pra que, por que, e o que os NE realmente computam. Nossa compreensão é semelhante à perspectiva dos pesquisadores Poeppel, Idsardi e Wassenhove:

“Agora, se assumirmos (para nós, sem controvérsia; para alguns, de forma chocante) que existem representações internas abstratas que formam a base para a representação e processamento linguístico, deve haver algum estágio no qual os sinais auditivos são traduzidos em tais representações. Se alguém não está inclinado a invocar representações motivadas linguisticamente no início do fluxo de processamento, então deve-se uma declaração de ligação de hipóteses que conectam os diferentes formatos (a menos que alguém não acredite, categoricamente, em quaisquer representações abstratas para processamento de linguagem). Alternativamente, talvez as representações da fala que são motivadas por considerações linguísticas sejam de fato ativas no próprio processo de análise e, portanto, ativas ao longo das sub-rotinas que compõem o processo de percepção da fala. Sem surpresa, adotamos a última visão”⁵⁵⁸ (Ibidem, 2008, p. 1074, parênteses do autor).

Por sinal, a representação abstrata da linguagem alude ao conhecimento internalizado do falante que viabiliza reconhecer e articular seus pensamentos linguísticos que podem ser comunicados através de ondas mecânicas que carregam os códigos acústicos da fala. Portanto, a linguagem computa informações oriundas de fontes externas juntamente como o conhecimento linguístico do falante. Nos termos propostos por Chomsky estamos falando da Linguagem-E e Linguagem-I. Afinal, vale salientar que o sistema computacional da linguagem processa sinais linguísticos que perpassam por caminhos segregados e paralelos em diferentes áreas corticais, assim como o fluxo de

558 Trecho original: “Now, if we assume (for us, uncontroversially; for some, shockingly) that there are abstract internal representations that form the basis for linguistic representation and processing, there must be some stage at which auditory signals are translated into such representations. If one is disinclined to invoke linguistically motivated representations early in the processing stream, then one owes a statement of linking hypotheses that connect the different formats (unless one does not, categorically, believe in any internal abstract representations for language processing). Alternatively, perhaps the representations of speech that are motivated by linguistic considerations are in fact active in the analysis process itself and therefore active throughout the subroutines that make up the speech perception process. Unsurprisingly, we adopt the latter view”.

processamento é calculado em diversas escaladas de tempo. Segundo Poeppel e colaboradores:

“[...] (i) a neurociência celular e de sistemas nos ensina fatos essenciais sobre como os sinais acústicos são analisados na via auditiva aferente e (ii) a anatomia funcional cortical distribuída associada ao reconhecimento de fala sugere que várias dimensões são processadas de maneira segregada”⁵⁵⁹ (Ibidem, 2008, p. 1074).

Em vista disso, assumir que os NE computam informações fonéticas ou dados semânticos não explica muita coisa, pois é preciso reconhecer a natureza dos cálculos executados nessa(s) rede(s).

“Nas concepções mais antigas, a linguagem era simplesmente fracionada em expressão (produção) e recepção (compreensão), uma conceituação obviamente muito grosseira (embora seja importante avaliar que os sistemas cerebrais que sustentam essas funções não eram fracionados de forma simplista em regiões expressivas e receptivas – um equívoco comum hoje em dia). Tentativas posteriores assumiram que subsistemas linguísticos de "larga escala" poderiam ser atribuídos às áreas relevantes, como *sintaxe* vs. *semântica* vs. *fonologia*. O que não foi considerado seriamente é que tais domínios linguísticos não são monolíticos, mas possuem uma rica estrutura interna com numerosos subcomponentes e requisitos computacionais. Portanto, é muito problemático atribuir um rótulo como *semântica* ou *sintaxe* a uma área do cérebro sem deixar explícito que esses são domínios subdivididos com necessidades computacionais específicas”⁵⁶⁰ (Poeppel e Hickok, 2004, p. 5, parênteses, aspas e itálico do autor).

559 Trecho original: “[...] (i) cellular and systems neuroscience teaches us essential facts about how acoustic signals are analysed in the afferent auditory pathway and (ii) the distributed cortical functional anatomy associated with speech recognition suggests that various dimensions are processed in a segregated manner”.

560 Trecho original: “In the oldest conceptions, language was simply fractionated into expression (production) and reception (comprehension), a conceptualization that is obviously too coarse (although it is important to appreciate that the brain systems supporting these functions were not fractionated simplistically into expressive and receptive regions – a common misunderstanding today). Later attempts assumed that ‘large scale’ linguistic subsystems could be assigned to the relevant areas, such as syntax vs. semantics vs. phonology. What was not seriously considered is that such linguistic domains are themselves not monolithic, but have rich internal structure with numerous subcomponents and computational requirements. Therefore, it is very problematic to assign a label such as semantics or syntax to a brain area without being explicit that these are subdivided domains with specific computational needs”.

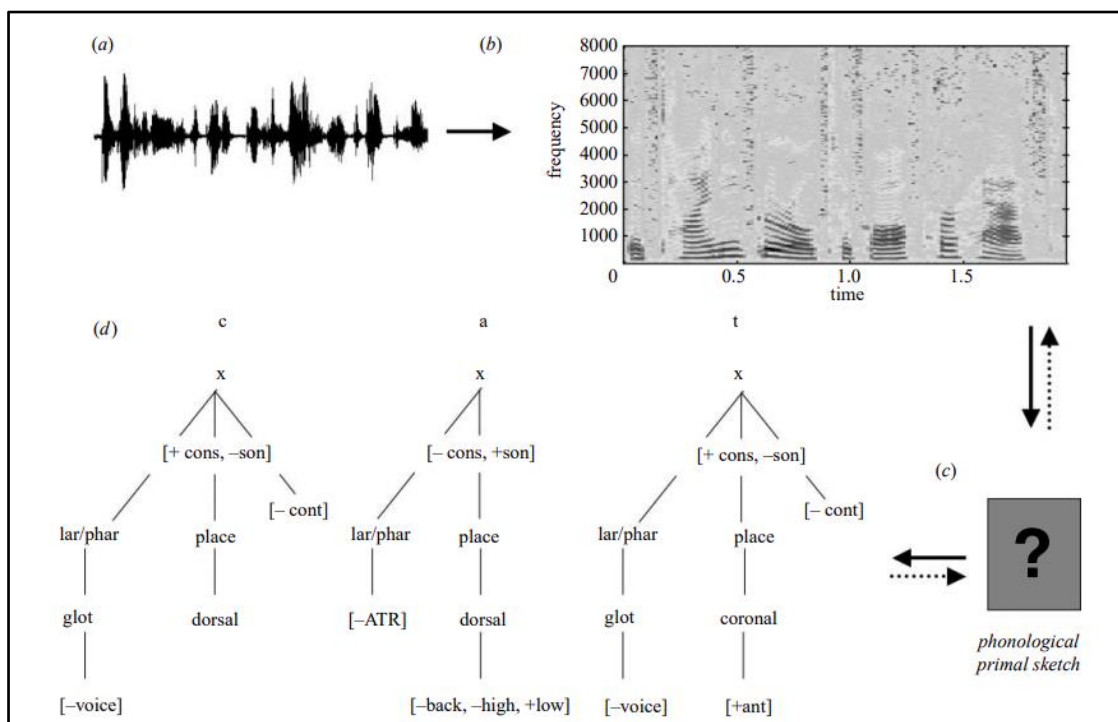
Recapitulando as ideias podemos compreender que ocorrem cascatas de computações neurais que são iniciadas com a entrada de informações linguísticas que perpassam por uma série de etapas de processamento serial e em paralelo que culminam em representações internas no nível computacional. Em outras palavras, diferentes áreas cerebrais são recrutadas no nível implementacional durante o processamento de informações linguísticas que seguem uma sucessão de regras computacionais no nível algoritmo que converge para a manifestação interna do estímulo no nível computacional onde ocorrem as representações virtuais da imagem acústica de uma palavra, assim como o sentido semântico de um léxico ou mesmo a interpretação estrutural de uma frase ou sentença.

“Vale a pena ter em mente que a gama de áreas envolvidas no processamento da fala vai muito além das áreas clássicas da linguagem tipicamente mencionadas para a fala; a grande maioria dos livros didáticos ainda afirma que esse aspecto da percepção e do processamento da linguagem ocorre na área de Wernicke (o terço posterior do STG) [giro temporal superior posterior]”⁵⁶¹ (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, p. 1076, parênteses do autor).

A seguinte imagem ilustra a organização estrutural e funcional da linguagem segundo a metodologia de pesquisa proposta por Marr, juntamente com a abordagem da análise por síntese.

561 Trecho original: “It is worth bearing in mind that the range of areas implicated in speech processing go well beyond the classical language areas typically mentioned for speech; the vast majority of textbooks still state that this aspect of perception and language processing occurs in Wernicke’s area (the posterior third of the STG)”.

Figura 85 - Entrada de códigos acústicos da fala e sua representação virtual.



Fonte: Poeppel, Idsardi e Wassenhove (2008, p. 1073). A imagem identificada pela letra (a) ilustra a onda acústica de códigos linguísticos produzidos pela voz do falante. A seta sólida representa as etapas lógicas de processamento que segue para (b) que reproduz um análogo neural do espectrograma que analisa o sinal de entrada em tempo e frequência. A próxima etapa segue para (c) que corresponde ao nível algoritmo onde são computados os sinais de entrada em resolução multi-tempo, ou seja, em janelas temporais de diferentes tamanhos que representam diferentes atributos do sinal linguístico. A interrogação alude a falta de dados sobre como esse esboço primal fonológico é calculado. Por fim, a representação hipotética da palavra *cat* (gato) na mente/cérebro do falante/ouvinte. Cada letra da palavra *cat* é construído a partir de traços distintivos, consoante-vogal-consoante, que definem o segmento. As setas pontilhadas sugerem uma computação de cima para baixo, ou seja, do nível computacional para o algoritmo e por fim implementacional.

Um aspecto importante do ponto de vista estrutural e funcional do processamento neurobiológico de informações fonéticas é seu caráter bilateral assimétrico (Hackett et al., 2001). Métodos hemodinâmicos e eletrofisiológicos mostram que os códigos acústicos da fala viajam por vias aferentes que apresentam assimetrias no nível coclear, assim como no tronco encefálico (Sininger e Cone-Wesson, 2004). Apesar de muitos sinais serem computados corticalmente no hemisfério esquerdo principalmente nas áreas clássicas da linguagem, a codificação da mudança do tom da voz, assim como o processamento do comprimento silábico perpassam por áreas do sulco temporal superior, além de estruturas frontais inferiores e temporal inferior no lobo direito (Poeppel et al., 2004). Sendo assim, é necessário pesquisar e conhecer a

contribuição computacional de cada sítio cortical em ambos os hemisférios. Nas palavras de Poeppel e colaboradores:

“O fato de os estudos de imagem mostrarem ativação bilateral não implica, obviamente, que as computações executadas nos córtices auditivos centrais esquerdo e direito sejam idênticas – existem, presumivelmente, diferenças importantes na computação local”⁵⁶² (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, p. 1075).

Portanto, o *continuum* de *inputs/outputs* linguísticos que perpassam pelo cérebro do emissor/receptor é quebrado e processado no espaço e no tempo em redes neurais segregadas e paralelas localizadas nos dois hemisférios. Vale acrescentar a seguinte citação:

“O mapeamento de “vibrações no ouvido” (sons) para “abstrações na cabeça” (palavras) revela-se particularmente complexo, envolvendo muitas etapas na via auditiva desde a cóclea até o córtex. Estudos de neurociência cognitiva tentaram abordar muitas dessas etapas. Para ilustrar a complexidade do problema, vale a pena mostrar visualmente como é um sinal de fala. O sinal associado a um alto-falante dizendo alguma frase é uma forma de onda continuamente variável que carrega informações em diferentes escalas de tempo e diferentes escalas de frequência. Como esses rabiscos mapeiam as informações armazenadas na memória de longo prazo de um ouvinte, divididas em representações individuais armazenadas (aproximadamente, palavras), é um profundo desafio. Como, por exemplo, a forma de onda continuamente variável é quebrada? Como e onde ocorre a segmentação? Alguns estudos inovadores de EEG [...] abordaram essa questão fundamental, mostrando que respostas muito precoces no córtex auditivo fornecem pelo menos algum índice fisiológico de quando a informação é quebrada no tempo. Mas, para ser honesto, sabemos muito pouco sobre esse requisito crítico, mas pouco compreendido, de como funciona a percepção da fala. Palavras e sentenças são analisadas como pedaços discretos e sequenciais de informações – mas o sinal de entrada é uma forma de onda contínua aparentemente não estruturada. Esse problema por si só ilustra um profundo desafio que qualquer sistema perceptivo enfrenta, ou seja,

562 Trecho original: “The fact that imaging studies show bilateral activation does, of course, not imply that the computations executed in left and right core auditory cortices are identical—there are, presumably, important differences in local computation”.

como mapear do sinal para a representação interna”⁵⁶³ (Poeppel, 2008, sem página, aspas e parênteses do autor).

Apesar da análise por síntese admitir uma computação fracionada dos sinais linguísticos estamos de acordo com Poeppel, Idsardi e Wassenhove (2008, p. 1081, parênteses do autor) que assumem a ideia que “[...] a representação mental dos sons da fala não é como unidades (alfabéticas) do tamanho de segmentos, mas é decomposto em características distintivas”⁵⁶⁴. Mesmo reconhecendo que a natureza virtual da linguagem não é inteiramente conhecida sugerimos que o nível computacional possui sua própria forma de organização estrutural e funcional que não se restringe as computações do nível algoritmo. Para ilustrar esse pressuposto convém transcrever o seguinte trecho:

“A principal objeção de Marr à tentativa de entender o cérebro por meio do registro dos neurônios era que isso só levava a descrições, e não a explicações. Uma descrição da atividade e das conexões neurais não é sinônimo de saber o que elas estão fazendo para causar o comportamento. [...] Uma analogia que ajuda a entender esse ponto é a compreensão do jogo de xadrez. Compreender o jogo não depende de saber nada sobre o material de que são feitos o tabuleiro ou as peças de xadrez. De fato, Marr sugeriu que os detalhes do sistema nervoso podem nem importar. Embora seja verdade que as propriedades físicas das peças de xadrez podem interferir na aplicação das regras”⁵⁶⁵ (Krakauer et al., 2017, p. 483).

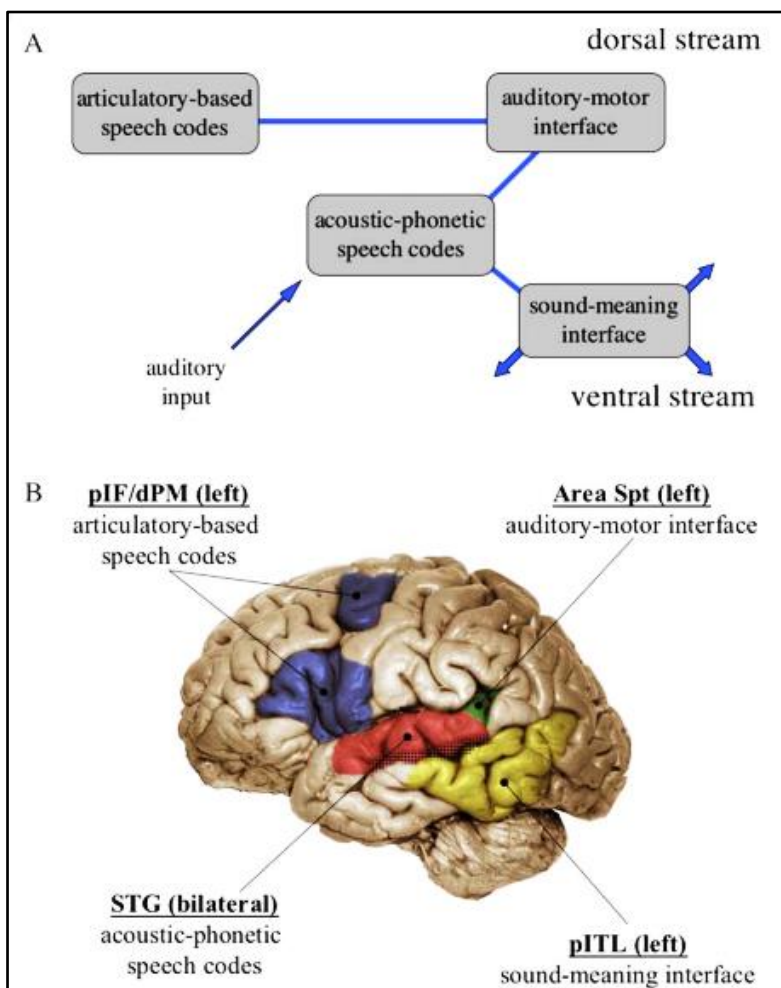
563 Trecho original: “The mapping from “vibrations in the ear” (sounds) to “abstractions in the head” (words) turns out to be particularly complex, involving many stages in the auditory pathway from the cochlea to the cortex. Cognitive neuroscience studies have tried to tackle many of these steps. In order to illustrate the complexity of the problem, it is worth showing visually what a speech signal looks like. The signal associated with a speaker saying some sentence is a continuously varying waveform that carries information on different time scales and different frequency scales. How those squiggles map to information that is stored in a listener’s long-term memory, broken up into individual stored representations (roughly, words), is a profound challenge. How, for example, is the continuously varying waveform broken up? How and where does segmentation occur? Some innovative EEG studies [...] have addressed this fundamental question, showing that very early responses in auditory cortex provide at least some physiological index of when information is broken up in time. But, to be honest, we know very little about this critical yet poorly understood requirement of how speech perception works. Words and sentences are analyzed as sequential discrete chunks of information – but the input signal is a seemingly unstructured, continuous waveform. This problem alone illustrates a deep challenge that any perceptual system faces, namely how to map from the signal to the internal representation”.

564 “Trecho original: “[...] the mental representation of speech sounds is not as segment-sized (alphabetic) units, but is decomposed into distinctive features”.

565 Trecho original: “Marr’s main objection to trying to understand the brain by recording from neurons was that this only leads to descriptions rather than explanations. A description of neural activity and connections is not synonymous with knowing what they are doing to cause behavior.

A seguinte imagem ilustra o nível implementacional das áreas neuroanatômicas recrutadas para computar sinais linguísticos da produção e percepção da fala.

Figura 86 - Nível implementacional da produção e percepção da fala.



Fonte: Hickok e Poeppel (2004, p. 71). Os dados obtidos para a elaboração da imagem foram produzidos por técnicas de neuroimagem durante testes de nomeação de objetos e do processamento articulatório da fala. O esquema identificado com a letra (A) mostra o curso de processamento de informações linguísticas que começa com o *input* auditivo dos códigos acústico-fonético que seguem para a via dorsal onde são computados na interface auditivo-motora, juntamente com os códigos da fala baseados na articulação. Além disso, o *input* auditivo é processado na interface som-significado na via ventral. As setas indicam possíveis direções dos sinais para outras regiões. A imagem assinalada com a letra (B) ilustra a visão lateral esquerda do cérebro junto com o cerebelo e as áreas acionadas durante a computação de múltiplas informações linguísticas. No hemisfério esquerdo são processados os códigos da fala baseados na articulação nas áreas posterior inferior frontal/dorsal pré-motor (pIF/dPM), além da interface auditiva-motora na região Sylviana-parietal-temporal (Spt), e a interface som-significado na parte posterior do lobo temporal inferior (pITL). Bilateralmente são computados os códigos da

[...] An analogy that helps get this point across is understanding of the game of chess. Understanding the game does not depend on knowing anything about the material out of which the board or chess pieces are made. Indeed, Marr suggested that the details of the nervous system may not even matter. While it is true that the physical properties of the chess pieces can impinge on application of the rules”.

fala acústico-fonética no giro temporal superior (STG). A área pontilhada no sulco temporal superior ilustra uma zona cortical hipoteticamente relacionada aos cálculos do processamento fonético. É importante saber que os limites das áreas não devem ser interpretados com precisão, além disso as funções atribuídas a cada área não são exclusivas, ou seja, pode haver subsistemas que computam outros tipos de sinais tanto linguísticos quanto de outros sistemas. Afinal, além de identificar as áreas implementacionais da linguagem é necessário pesquisar e explicar como e por que as vias dorsal e ventral computam informações linguísticas.

Assim como a teoria de Marr combinada com a estratégia de pesquisa da análise por síntese pode propiciar algum *insight* sobre a organização estrutural e funcional dos NE e sua correlação com a linguagem, outra abordagem de pesquisa consistente com a análise por síntese e que também pode ser útil para as pesquisas em neurolinguística é o modelo matemático formulado pelo pesquisador inglês Thomas Bayes (1701 – 1761)⁵⁶⁶. Segundo Poeppel, Idsard e Wassenhove (2008, p. 1080), “É surpreendente como raramente essa conexão entre a metodologia bayesiana e a análise por síntese foi feita na literatura”⁵⁶⁷. A inferência ou estatística bayesiana aplicada às operações neurobiológicas pode elucidar os cálculos realizados pelas redes neurais que subjazem fenômenos cognitivos, sensoriais ou comportamentais. Segundo o artigo intitulado “Modelos bayesianos em neurociência”⁵⁶⁸ (Penny, 2015, p. 1):

“Uma perspectiva bayesiana em neurociência inclui a ideia de que o comportamento humano em muitos domínios está próximo da otimização estatística e que a estrutura e o maquinário do próprio cérebro são refletidos em algoritmos de transmissão de mensagens que implementam a inferência Bayesiana”⁵⁶⁹.

Em outras palavras, o fluxo de sinais linguísticos que chega no cérebro do falante/ouvinte é computado por sistemas neurais que comparam os dados de entrada/saída sensorial com as informações interiorizadas gerando assim previsões, inferências ou cálculos probabilísticos sobre os próximos sinais e suas respectivas representações. Segundo Bever e Poeppel (2010, p. 188):

“A infra-estrutura conceitual bayesiana vincula noções de probabilidade condicional, os dados perceptivos em andamento e os

566 Thomas Bayes, nascido em 1701, falecido em 1761.

567 Trecho original: “It is rather astonishing how seldom this connection between Bayesian methodology and analysis-by-synthesis has been drawn in the literature”.

568 Título original: “Bayesian Models in Neuroscience”.

569 Trecho original: “A Bayesian perspective on neuroscience includes the idea that human behavior in many domains is close to statistical optimality and that the structure and machinery of the brain itself is reflected in message-passing algorithms that implement Bayesian inference”.

anteriores. Calcular as probabilidades posteriores envolve uma previsão da imagem antecipada; calcular a previsão está intimamente relacionado com a noção de uma derivação de um candidato alvo”⁵⁷⁰.

Considerando que os sinais fracionados seguem por vias neurais segregadas e paralelas localizadas em ambos os hemisférios que ao serem computados compõem a representação virtual do sinal, o papel da codificação preditiva seria tornar esses cálculos mais eficientes ao combinar cada matriz de entrada com seu provável destino. Para ilustrar essa hipótese vale acrescentar a seguinte citação:

“Quando uma forma de onda chega para reconhecimento, o modelo verifica todas as sequências de palavras possíveis, executa-as no processo de palavras para formas de onda e escolhe aquela que é mais adequada”⁵⁷¹ (Ibidem, 2010, p. 183).

Nesse sentido, o modelo bayesiano pode esclarecer o comportamento funcional de redes neurais como os NE mediante tarefas de reconhecimento ou estratégias perceptivas de computação linguística. Afinal, o falante/ouvinte pode inferir de antemão a estrutura serial de uma sentença, assim como possíveis léxicos em uma *string* de palavras incompleta. De acordo com Bever e Poeppel:

“Assim, não vemos nenhuma incompatibilidade entre a arquitetura AxS [análise por síntese] e o papel da modelagem Bayesiana. A diferença no caso da linguagem é que, ao contrário da visão, sabe-se muito do que cada nível de representação é feito e como ele se relaciona com seus níveis hierarquicamente adjacentes. Fonemas são partes de sílabas que são partes de palavras que são partes de frases que são partes de orações que são partes de frases... Assim, a noção de 'geração' de uma derivação que liga esses diferentes níveis para cada frase é tipicamente mais limitado em modelos linguísticos do que visuais. Mais importante, como observamos, tais modelos generativos também incorporam processos que podem explicar uma gama de fenômenos linguísticos além da mera representação de cada

570 Trecho original: “The Bayesian conceptual infrastructure links notions of conditional probability, the ongoing perceptual data, and the priors. Calculating the posterior probabilities involves a prediction of the anticipated image; calculating the prediction is closely related to the notion of a derivation of a candidate target”.

571 Trecho original: “When a waveform comes in for recognition, the model checks every possible word string, runs it through the words-to-waveforms process and picks the one that is the closest fit”.

seguimento [sequência de palavras]⁵⁷² (Ibidem, 2010, p. 189 – 190, aspas simples do autor).

Por falar em fenômenos linguísticos os componentes semânticos e sintáticos também podem ser examinados segundo a estratégia de pesquisa da análise por síntese ou pela inferência bayesiana. Os pesquisadores Bever e Poeppel sugerem que:

“[...] o modelo AxS [análise por síntese] encontra um quebra-cabeça óbvio, especialmente no nível sintático: as Sentenças fluem serialmente no tempo palavra por palavra [*string*], mas as derivações são computacionalmente “verticais”, com pelo menos cláusulas inteiras como seu domínio⁵⁷³ (Ibidem, 2010, p. 182 – 183, aspas do autor).

Para refletir sobre essa citação vale retomar a sentença: ideias verdes incolores dormem furiosamente. Por um lado, a estrutura do período está gramaticalmente correta, por outro não possui sentido. De acordo com Chomsky “[...] frases são pronunciadas em uma posição na sentença, mas entendidas como se estivessem em uma posição diferente, onde seu papel semântico seria transparente⁵⁷⁴ (Chomsky, 2000c, p. 25). Nessa perspectiva, é pertinente investigar se a organização serial das palavras pode ser resultado das regras e dos cálculos computacionais processados pelos algoritmos de transmissão de informações das interfaces sensório-motora e conceitual-intencional. No entanto, o estudo do processamento do sentido abstrato da sentença no nível computacional requer explicações para perguntas do tipo: “Como, então, acessamos empiricamente um domínio tão abstrato? Como estudamos experimentalmente o que as palavras “significam” e o que as sentenças de

572 Trecho original: “Thus, we see no incompatibility between the AxS architecture and the role of Bayesian modeling. The difference in the case of language is that, unlike vision, there is a great deal known about what each level of representation is made of and how it is related to its hierarchically adjacent levels. Phonemes are parts of syllables which are parts of words which are parts of phrases which are parts of clauses which are parts of sentences... Thus, the notion of ‘generation’ of a derivation that links these different levels for each sentence is typically more constrained in linguistic than visual models. Most important, as we noted, such generative models also incorporate processes that may explain a range of linguistic phenomena other than mere representation of each string”.

573 Trecho original: “[...] the AxS model meets an obvious puzzle especially at the syntactic level: Sentences stream serially in time word by word, but derivations are computationally ‘vertical’, with at least entire clauses as their domain”.

574 Trecho original: “[...] phrases are pronounced in one position in a sentence, but understood as if they were in a different position, where their semantic role would be transparente”.

“pensamentos” expressam?”⁵⁷⁵ (Hinzen e Poeppel, 2011, p. 2, aspas do autor). Em relação as interfaces sensório-motora e conceitual-intencional, Chomsky menciona que:

“Os sistemas extralinguísticos incluem sistemas sensório-motores e conceituais, que possuem propriedades próprias independentes da faculdade da linguagem. Esses sistemas estabelecem o que podemos chamar de “especificações mínimas de design” para o corpo docente de idiomas. Para ser utilizável, uma linguagem deve ser “legível” na interface: as expressões que ela gera devem consistir em propriedades que possam ser interpretadas por esses sistemas externos”⁵⁷⁶ (Chomsky, 2000c, p. 25, aspas do autor).

Sendo assim, as interfaces extralinguísticas devem possuir regras específicas de computação, ou seja, os circuitos neurais especializados no tratamento processual de informações de entrada e saída linguística suportam sub-rotinas computacionais que delineiam o tipo e a forma de processamento decifrável. Por isso, as frases são estruturadas de uma forma, porém interpretadas de outra. Aliás, a hipótese de que a semântica e a sintaxe são processadas separadamente retoma uma pergunta tradicional tanto para as pesquisas em linguística quanto para o campo da psicolinguística. Reformulando a questão segundo a perspectiva da neurolinguística temos: existe uma área cortical específica ou melhor especializada na computação de informações semânticas que é separada do processamento da sintaxe? A resposta advém do pressuposto de que informações fonéticas, semânticas e sintáticas são processadas em uma série de passos computacionais que perpassam por caminhos segregados e paralelos em diferentes regiões cerebrais e corticais em ambos hemisférios, ou seja, são informações tratadas em múltiplas sub-rotinas computacionais como sugere a abordagem da análise por síntese. Por isso, não faz sentido defender a concepção de que existem áreas específicas ou

575 Trecho original: “How, then, do we access such an abstract domain empirically? How do we experimentally study what words “mean” and what “thoughts” sentences express?”.

576 Trecho original: “The extralinguistic systems include sensorimotor and conceptual systems, which have their own properties independent of the language faculty. These systems establish what we might call “minimal design specifications” for the language faculty. To be usable at all, a language must be “legible” at the interface: the expressions it generates must consist of properties that can be interpreted by these external systems”.

monolíticas para a fonética, semântica ou sintaxe. Nossa posição está de acordo com a seguinte colocação de Poeppel:

“A intuição de que o processamento de sentenças e a computação do significado de sentenças podem ser separados levou a duas vertentes de pesquisa nas neurociências cognitivas. Em um conjunto de estudos, os pesquisadores usam imagens hemodinâmicas, principalmente fMRI, para testar se “tarefas de sintaxe” versus “tarefas de semântica” ativam diferentes áreas do cérebro. Observe que fazer tal experimento pressupõe que exista um objeto como “sintaxe” e “semântica”. A partir de meados da década de 1990, numerosos estudos buscaram identificar as bases cerebrais da sintaxe e da semântica, mas o progresso foi apenas parcial. Experimentos sintáticos mostraram que áreas frontais, em particular no giro frontal inferior, áreas parietais e áreas temporais, estão todas implicadas em tarefas de processamento de sentenças. Ironicamente, os experimentos semânticos mostraram o mesmo tipo de distribuição – embora as áreas específicas envolvidas não sejam idênticas às que aparecem nas tarefas sintáticas [...]. Observe que, se alguém assumir que a sintaxe e a semântica são conjuntos complexos de operações com muitas “partes móveis” diferentes, não é sensato esperar ativações cerebrais únicas e fortemente localizadas. Como a sintaxe é uma coleção de muitas sub-rotinas computacionais diferentes, não é surpreendente que muitas áreas cerebrais diferentes estejam envolvidas no processamento da estrutura da sentença. O mesmo vale para a semântica composicional. Existem modelos sofisticados da anatomia funcional do processamento de sentenças (ver, por exemplo, Friederici 2002), e agora é incontroverso que não há uma única área cerebral para “sintaxe”. A pesquisa real sobre anatomia funcional do processamento de sentenças diz respeito a quais áreas do cérebro suportam quais sub-rotinas computacionais”⁵⁷⁷ (Poeppel, 2008, sem página, aspas do autor).

577 Trecho original: “The intuition that sentence processing and the computation of sentence meaning can be separated has led to two strands of research in the cognitive neurosciences. In one set of studies, researchers use hemodynamic imaging, principally fMRI, to test whether ‘syntax tasks’ versus ‘semantics tasks’ activate different brain areas. Notice that to do such an experiment presupposes that there is such an object as “syntax” and “semantics”. From the mid 1990s on, numerous studies have sought to identify the brain basis of syntax and semantics, but there has been only partial progress. Syntactic experiments have shown that frontal areas, in particular in the inferior frontal gyrus, parietal areas, and temporal areas are all implicated in sentence processing tasks. Ironically, semantic experiments have shown the same type of distribution – although the specific areas implicated are not the identical ones that show up in syntactic tasks. [...]. Notice that, if one assumes that syntax and semantics are complex sets of

Outro ponto interessante a ser pensado é a hipótese de que “[...] percebemos tudo duas vezes, uma vez como um objeto metonímico esquemático, uma vez como imagem clara do objeto”⁵⁷⁸ (Bever, 2001, p. 144). Essa ideia remete a organização estrutural e funcional dos níveis algoritmo e computacional. Enquanto o primeiro faz cálculos baseados na indução do estímulo recebido ou emitido (primeira percepção), o segundo opera com base na computação dedutiva (segunda percepção). Para Bever e Poeppel (2010, p. 186) “[...] há uma computação dedutiva e derivacional que precede a comparação do sinal de entrada com as representações candidatas geradas internamente”⁵⁷⁹. É curioso pensar que esse pressuposto lembra o mecanismo funcional dos NE que segundo o grupo de Parma é capaz de “reconhecer” a intenção de uma ação observada visualmente ou percebida auditivamente. Segundo Bever e Poeppel:

“É uma característica intrínseca de uma análise eficaz por esquema de síntese, que computa representações de duas maneiras, uma baseada na “forma externa” das sentenças, outra baseada na “forma interna”. A primeira é baseada em algum tipo de “percepção direta”, a segunda na recriação computacional da representação que reflete um processo generativo”⁵⁸⁰ (Ibidem, 2010, p. 195, aspas do autor).

Curiosamente, a experiência linguística interiorizada pelo falante pode ser “[...] compreendida como a coleção estatística de conhecimento *sobre* a linguagem”⁵⁸¹ (Poeppel, Idrardi e Wassenhove, 2008, p. 1083, itálico do autor). Ou seja, os sinais de *input/output* computados no nível algoritmo realizam cálculos preditivos sobre a construção e o conteúdo da mensagem, assim como

operations with many different ‘moving parts’, it is unwise to expect single, strongly localized brain activations. Since syntax is a collection of many different computational subroutines, it is not surprising that many different brain areas are implicated in the processing of sentence structure. The same goes for compositional semantics. There exist sophisticated models of the functional anatomy of sentence processing (see, e.g., Friederici 2002), and it is now uncontroversial that there is no single brain area for “syntax”. The real research on functional anatomy of sentence processing concerns which brain areas support which computational subroutines”.

578 Trecho original: “[...] we perceive everything twice, once as a metonymously schematic object, once as clear image of the object”.

579 Trecho original: “[...] there is a deductive, derivational computation that precedes the comparison of the input signal to the internally generated candidate representations”.

580 Trecho original: “It is an intrinsic feature of an effective analysis by synthesis scheme, that it computes representations in two ways one based on the ‘outer form’ of sentences, one based on the ‘inner form’. The first is based on some sort of ‘direct perception’, the second on computational recreation of representation that reflects a generative process”.

581 Trecho original: “[...] understood as the statistical collection of knowledge about language”.

podem inferir segundo a estatística bayesiana o próximo código acústico da fala ou mesmo reconhecer a(s) letra(s) que faltam em um jogo de palavras cruzadas. De acordo com Poeppel:

“[...] existem projetos eletrofisiológicos sutis que podem ser usados para sondar o quão cedo no fluxo auditivo existe uma interação entre a informação abstrata do conhecimento da língua que um falante possui e o sinal de entrada proveniente dos sons da fala”⁵⁸² (Poeppel, 2008, sem página).

Explicando de outra forma, o falante/ouvinte dispõe de um sistema estatístico de processamento computacional no nível algoritmo que calcula possíveis composições frasais, assim como interpretações linguísticas no nível abstrato com base nos sinais de *input*, juntamente com as representações internas do estímulo e suas características de *output*. Uma forma de ilustrar essa hipótese funcional do cérebro é observando e percebendo que “[...] o movimento de um martelo em direção a uma superfície prediz um certo tipo de som em um intervalo temporal específico”⁵⁸³ (Bever e Poeppel, 2010, p. 185). Segundo os pesquisadores:

“O sinal de entrada de uma modalidade é suficiente para desencadear ‘palpites’ (hipóteses perceptivas, a parte de indução de AxS) [análise por síntese] que fazem contato com as representações internas abstratas que permitem a derivação dos alvos possíveis (a partir da síntese de AxS). Uma questão crítica é, naturalmente, qual é o formato de representação que medeia entre o palpite inicial e a derivação/síntese do alvo”⁵⁸⁴ (Ibidem, 2010, p. 185, aspas simples e parênteses do autor).

Seja dito de passagem esse modelo de processamento é semelhante a computação visual do qual:

582 Trecho original: “[...] there are subtle electrophysiological designs that can be used to probe how early in the auditory stream there exists an interaction between the abstract information of the knowledge of language that a speaker has and the input signal coming from the speech sounds”.

583 Trecho original: “[...] the movement of a hammer towards a surface predicts a sound of a certain type in a specific temporal interval”.

584 Trecho original: “The input signal from one modality suffices to trigger ‘guesses’ (perceptual hypotheses, the induction part of AxS) that make contact with the abstract internal representations that permit derivation of the possible targets (the synthesis part of AxS). A critical issue is, naturally, what the format of representation is that mediates between the initial guess and the derivation/synthesis of the target”.

[...] o input visual da fala, que normalmente precede o sinal auditivo, elicia uma (ampla classe de) representações abstratas internas (o espaço de hipóteses). Essas representações internas prevêem os possíveis alvos de áudio. Os alvos sintetizados internamente e previstos são comparados com a entrada de fala auditiva e o erro residual é calculado e realimentado para correção. Quanto mais informativa for a informação facial, mais específica pode ser a previsão e mais economia temporal é observada. A representação interna (abstrata) que é rapidamente eliciada pelo sinal visual principal (que pode, é claro, ser um tanto grosseiro) elicia um conjunto candidato de alvos possíveis; quanto menos alvos houver, como no caso dos bilabiais, mais rápida e precisa é a síntese e mais facilitação temporal é observada. Cumulativamente, esses dados são mais consistentes com um modelo de análise por síntese, um modelo direto interno no qual a análise perceptiva é guiada pelas previsões feitas com base nos candidatos sintetizados internamente que são comparados com os sinais de entrada. A integração sensorio-motora multimodal está, portanto, na articulação que fundamenta as várias saídas, não em um mapeamento sensorial-sensorial entre, digamos, visão e audição”⁵⁸⁵ (Poeppel, Idsardi e Wassenhove, 2008, p. 1081, parênteses do autor).

Em suma, o sistema computacional da linguagem examinado a partir dos NE pode propiciar *insights* para o campo da neurociência da linguagem a partir de um programa de pesquisa que tenha “[...] modelos explicativos teoricamente precisos, computacionalmente explícitos e biologicamente fundamentados sobre a capacidade do cérebro humano de compreender e produzir fala e linguagem”⁵⁸⁶ (Poeppel e Hickock, 2004, p. 7). Por fim, vale salientar que:

585 Trecho original: “[...] the visual speech input, which typically precedes the auditory signal, elicits a (broad class of) internal abstract representations (the hypothesis space). These internal representations predict the possible audio targets. The internally synthesized and predicted targets are compared against the auditory speech input and the residual error is calculated and fed back for correction. The more informative the facial information is, the more specific the prediction can be, and the more temporal savings is observed. The (abstract) internal representation that is rapidly elicited by the leading visual signal (which may, of course, be somewhat coarse) elicits a candidate set of possible targets; the fewer targets there are, as in the case of bilabials, the more rapid and precise the synthesis is, and the more temporal facilitation is observed. Cumulatively, these data are most consistent with an analysis-by-synthesis model, an internal forward model in which perceptual analysis is guided by the predictions made based on the internally synthesized candidates that are compared against input signals. The multimodality sensory-motor integration is thus in the articulation that underlies the various outputs, not in a sensory-to-sensory mapping between, say, vision and audition”.

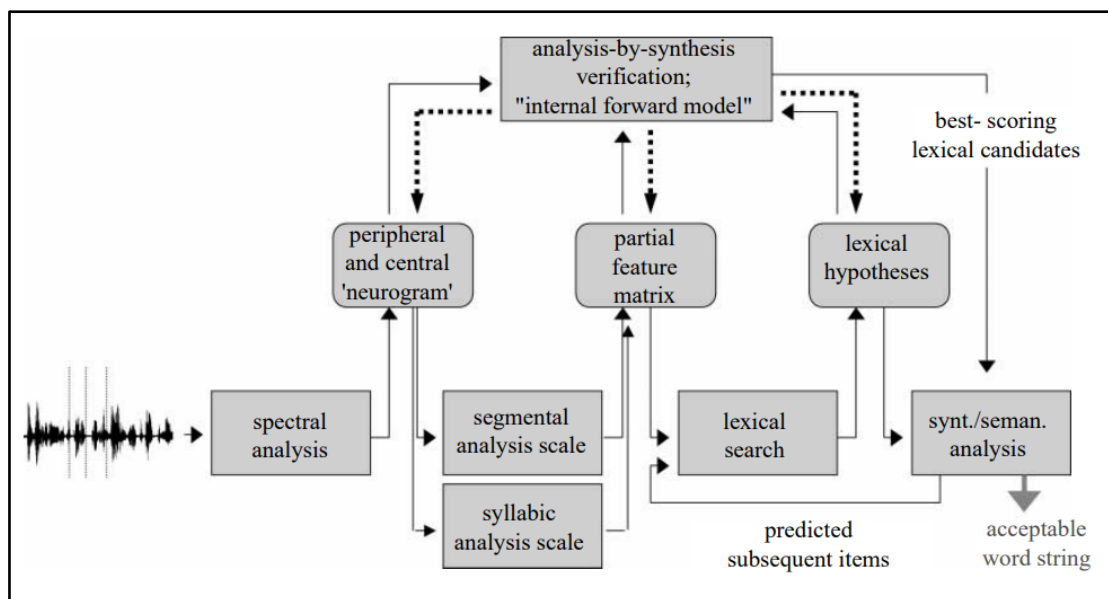
586 Trecho original: “[...] to have theoretically precise, computationally explicit, biologically grounded explanatory models of the human brain’s ability to comprehend and produce speech and language”.

[...] não existe uma entidade computacional única chamada sintaxe; não existe uma operação estruturada chamada semântica, assim como não existe uma área cerebral única para palavras ou sons. A pesquisa da ciência cognitiva, em particular a pesquisa linguística e psicolinguística, mostra de forma convincente que esses domínios de processamento são coleções de sub-rotinas. Portanto, não é surpreendente que a anatomia funcional não seja um mapeamento um-para-um da suposta operação de linguagem para uma parte do cérebro. Resumindo: não há mapeamento direto da sintaxe para a área X do cérebro, da semântica para a área Y do cérebro., da fonologia para as áreas Z do cérebro, etc. Além disso, esse fracionamento não ocorre apenas no espaço (anatomia), mas também no tempo: diferentes sub-rotinas computacionais atuam em diferentes pontos no curso do tempo do processamento da linguagem. Ao processar uma frase falada, várias operações ocorrem simultaneamente em várias escalas de tempo e, sem surpresa, muitas áreas do cérebro estão envolvidas no suporte a essas operações simultâneas. Os mecanismos cerebrais que fundamentam a representação e o processamento da linguagem são fracionados tanto no espaço quanto no tempo”⁵⁸⁷ (Poeppel, 2008, sem página, parênteses do autor).

A seguinte imagem ilustra como os sinais linguísticos da fala são computados em diferentes sítios, áreas ou regiões corticais compostas por vias, circuitos ou redes neurais, cujo os algoritmos podem operar em paralelo, serial ou de forma cooperativa segundo a estratégia de investigação de Marr correlacionada com a metodologia da análise por síntese.

587 Trecho original: “[...] there is no single computational entity called syntax; there is no unstructured operation called semantics, just like there is no single brain area for words or sounds. Cognitive science research, in particular linguistic and psycholinguistic research, shows convincingly that these domains of processing are collections of subroutines. Therefore, it is not surprising that the functional anatomy is not a one-to-one mapping from putative language operation to piece of brain. In short: there is no straightforward mapping from syntax to brain area X, semantics to brain area Y., phonology to brain areas Z, etc. Just as cognitive science research reveals complexity and structure, so the neurobiological research reveals fractionated and complex and distributed anatomic organization. Moreover, this fractionation is not just in space (anatomy) but also in time: different computational subroutines act at different points in the time course of language processing. When processing a spoken sentence, multiple operations occur simultaneously at multiple timescales, and, unsurprisingly, many brain areas are implicated in supporting these concurrent operations. The brain mechanisms that form the basis for the representation and processing of language are fractionated both in space and in time”.

Figura 87 - Etapas de processamento dos códigos linguísticos da fala segundo o modelo da análise por síntese.



Fonte: Poeppel, Idsardi e Wassenhove (2008, p. 1080). A onda mecânica do som da fala carrega códigos linguísticos que ao penetrar nos ouvidos internos percorrem diferentes áreas cerebrais que vão computar os sinais em caminhos segregados e paralelos. As setas com linhas contínuas indicam rotas diretas de processamento, enquanto as setas com linhas tracejadas inferem possíveis percursos alternativos de computação. Basicamente o *input* linguístico perpassa por três camadas de processamento que se inter-relacionam como ilustra a imagem. O sinal é computado inicialmente por um espectro de análise do som chamado “neurograma”. O sinal passa tanto para a camada inferior onde são computados os valores da escala de análise segmentar, juntamente com a escala de análise silábica, assim como percorre a camada superior onde o sinal é verificado segundo os modelos de representações internalizadas. O fluxo de processamento então segue para uma matriz de características parciais na camada intermediária que se inter-relaciona com a camada inferior pelo sistema de busca lexical que retorna ao level intermediário onde ocorrem computações preditivas sobre o léxico ou hipóteses lexicais que volta para a camada de base onde são processados e analisados os componentes sintáticos e semânticos. Os candidatos lexicais com melhor pontuação verificados segundo o conhecimento linguístico internalizado do falante também seguem para a análise dos códigos sintáticos e semânticos que por fim são aceitos para a construção da *string* de palavras, ou seja, a formulação estrutural da sentença. De forma geral, o córtex auditivo central computa o espectro-temporal e a representação auditiva de entrada. As análises do nível segmentar e silábico são computados no giro temporal superior e no sulco temporal superior ambos nos dois hemisférios do cérebro. A codificação preditiva das entradas lexicais também é processada no sulco temporal superior, enquanto a computação das buscas lexicais ocorre no giro temporal médio, mas podem ser segmentadas para outras regiões. Possivelmente as representações semânticas e sintáticas são computadas em áreas frontais do córtex que alimentam o lobo temporal e todas as áreas interconectadas. É importante deixar claro que as vias neurais por onde percorrem os sinais linguísticos não são inteiramente conhecidas, assim como é preciso identificar a computação realizada por cada área recrutada e até mesmo os algoritmos processados por um único neurônio para que o modelo seja neurobiologicamente plausível, teoricamente preciso e computacionalmente explícito.

Ao considerar a teoria de Marr como um meio de pesquisar e conhecer a natureza multidimensional da linguagem estamos sugerindo que as características neuroanatômicas e a localização espacial dos NE em uma área ou subárea cortical devem ser analisados e explicadas em relação ao nível

implementacional. Além disso, propomos que o funcionamento dessa classe de células neurais seja examinado no nível algoritmo segundo a abordagem metodológica da análise por síntese ou mesmo pela inferência bayesiana. Ao descrever e refletir sobre a organização estrutural e funcional da linguagem em diferentes níveis de análise e explicação, ficou claro que os mapas cartográficos produzidos por tecnologias não invasivas como a neuroimagem geram dados mais descritivos que explicativos, pois os resultados são interpretadas segundo a lógica do raciocínio causal como exemplifica a seguinte sentença: a área X do cérebro foi ativada durante um ato de fala, logo a área X corresponde ao substrato neurobiológico da fala. Esse tipo ou forma de “explicação” linear remete ao segundo problema constatado pela revisão sistemática sobre como o conhecimento da neurociência experimental e da linguística são articulados e co-interpretados. Ao examinar o exemplo anterior, percebemos que a interpretação causal aproxima e correlaciona conceitos com origens epistemológicas diferentes.

Por um lado, o campo do conhecimento das neurociências é formado por conceitos com referente claro, ou seja, palavras, termos ou expressões são fundamentadas pelo estudo objetivo sobre a organização estrutural e funcional do SNC, assim como de suas partes anatômicas como o encéfalo, o cérebro, o córtex, ou até mesmo de uma região ou sub-região cortical como a área de Broca (BA 44). Além da visão macroscópica do órgão e suas partes as pesquisas em microscopia também colaboraram com descobertas citológicas que precisaram adotar ou elaborar conceitos descritivos para o campo das neurociências. Segundo Poeppel (2012, p. 49) “[...] como neurocientistas, procuramos determinar a infraestrutura do sistema nervoso, desde os componentes subcelulares até os sistemas de grande escala”⁵⁸⁸. Vale lembrar que o vocabulário da neurobiologia ou da neurociência como um todo, basicamente floresceu com os primeiros estudos sobre neuroanatomia, neurofisiologia e histologia. A formação de conceitos como neurônio (célula nervosa), axônio, bainha de mielina, espinhos dendríticos ou sinapse são definidos com base em um referente do mundo orgânico, ou seja, são conceitos que apontam para uma

588 Trecho original: “[...] as neuroscientists we seek to determine the infrastructure of the nervous system, from subcellular components to large-scale systems”.

entidade do corpo, nesse caso o neurônio e suas partes. A individualidade anatômica de uma célula neural como o neurônio piramidal ou o neurônio bipolar ilustra a formação de conceitos fomentados pela observação e constatação empírica de que existem células neurais cuja estrutura anatômica pode ser classificada conforme suas características. Cabe mencionar que um conceito pode ser formulado de acordo com a natureza do referencial que pode ser estrutural ou funcional. Segundo Caetano e Ferreira (2018, p. 150, parênteses do autor):

“Os conceitos de neurônio e comunicação celular são exemplos de conceitos com referente claro, no primeiro o referente primário é estrutural (célula do sistema nervoso) e no segundo o referente é funcional (conjunto de operações que caracterizam a troca de informações entre as células do tecido nervoso)”⁵⁸⁹.

É curioso notar que quando mencionamos a organização estrutural e funcional dos NE estamos abrangendo os dois vértices do referencial. O primeiro diz respeito a configuração anatômica das células identificadas como NE com base nas características funcionais, ou seja, segundo seu referente funcional, por exemplo, a característica multimodal dos NE.

Além dos conceitos originários do campo do conhecimento das neurociências existe um conjunto de conceitos que dão sustentação teórica a disciplina linguística. Como descrito e examinado no capítulo 6, os primeiros estudos sobre a linguagem formaram um *corpus* conceitual que delineou os limites de interesse da pesquisa científica em linguística. Vale lembrar que alguns termos e conceitos empregados pelos linguistas foram importados de outras áreas como a filosofia, psicologia ou sociologia. Por sinal, apesar da teoria da linguagem de Chomsky operar com três conceitos clássicos da linguística que são a fonética, a semântica e a sintaxe, seus trabalhos também recorrem a terminologia de outras áreas de pesquisa como a computação, a matemática além das disciplinas citadas anteriormente. Aliás, a construção de certos conceitos em linguística também é formulada com base em um referente claro. Por exemplo, os estudos sobre fonética articulatória vão conceituar a articulação dos sons da fala conforme a disposição orgânica dos órgãos da fala. No entanto,

589 Trecho original redigido em português.

a linguística também apresenta conceitos que não possuem um referente no nível orgânico do corpo. Nesse caso são conceitos intencionais, ou seja, remetem a componentes ou fenômenos vinculados a cognição linguística. De acordo com Poeppel:

“Suponha que escrevamos para uma lista grande (mesmo exaustiva) de pesquisadores da fala e da linguagem, perguntando o que eles consideram ser os elementos primitivos de seu domínio sem os quais não poderiam dar conta dos fenômenos elementares de seus campos. Em outras palavras, qual é o conjunto de primitivos que são absolutamente necessários para fornecer uma explicação dos fenômenos canônicos na percepção da fala, compreensão da linguagem e produção?”⁵⁹⁰ (Ibidem, 2012, p. 49, parênteses do autor).

A questão essencial é: quais são os conceitos básicos que compõem o arcabouço epistemológico do campo de conhecimento linguístico? Apesar de existir diferentes teorias dentro de um mesmo domínio de conhecimento é possível elaborar uma lista com os conceitos mais elementares como ilustra o seguinte quadro:

⁵⁹⁰ Trecho original: “Suppose we write to a large (even exhaustive) list of speech and language researchers, asking what they consider to be the primitive elements of their domain without which they could not account for the elementary phenomena of their fields. In other words, what are the set of primitives that are absolutely required to provide an explanatory account of the canonical phenomena in speech perception, language comprehension, and production?”.

Quadro 10 – Conjunto de conceitos elementares da linguística e das neurociências.

<u>Linguistics</u>	<u>Neuroscience</u>
<i>Fundamental elements of representation (at a given analytic level)</i>	
distinctive feature	dendrites, spines
syllable	neuron
morpheme	cell-assembly/ensemble
noun phrase	population
clause	cortical column
<i>Fundamental operations on primitives (at a given analytic level)</i>	
concatenation	long-term potentiation (LTP)
linearization	receptive field
phrase-structure generation	oscillation
semantic composition	synchronization

Fonte: Poeppel (2012, p. 50). A lista mostra cinco elementos fundamentais da representação no campo da linguística e das neurociências. No canto superior esquerdo estão os seguintes conceitos oriundos da linguística: a característica distintiva remete aos diferentes traços fonológicos de uma língua. Também compõem a lista os conceitos: sílaba, morfema, frase nominal e cláusula que alude as regras gramaticais. Ainda no canto superior, porém do lado direito estão os conceitos das neurociências: dendritos, espinhas, neurônio, conjunto/grupo de células, população (de neurônios), e coluna cortical. Na parte inferior da imagem estão listadas cinco operações fundamentais sobre os primitivos da linguística e das neurociências em um determinado nível de análise. No campo da linguística aparecem as seguintes operações: concatenação que equivale a operação Merge, ou seja, a combinação de dois ou mais elementos linguísticos que ao serem articulados aparecem como uma sequência de palavras (linearização). Além disso, estão listadas duas outras operações: a geração de estrutura de frase e a composição semântica. No canto inferior direito aparecem cinco características funcionais reconhecidas pelas neurociências: a potenciação de longo prazo (LTP), que remete ao mecanismo neurofisiológico de consolidação da memória, o campo receptivo alude a área de processamento cortical, enquanto a oscilação indica a mudança do ritmo das ondas cerebrais. E por fim, a sincronização funcional entre os disparos de potencial de ação dos neurônios. Vale mencionar que a correspondência vertical entre os conceitos de cada domínio é arbitrária.

Sabendo que as neurociências e a linguística possuem seu próprio repertório vocabular ou melhor conceitual, é preciso ter cuidado para não formular correlações grosseiras no campo de intersecção da neurolinguística. Ou seja, não basta aproximar e vincular conceitos de ambas as áreas e produzir sentidos que no fundo não explicam muita coisa. No artigo intitulado “Neurobiologia e linguística ainda não são unificáveis”⁵⁹¹ (1996), Poeppel faz o seguinte comentário:

⁵⁹¹ Título original: “Neurobiology and Linguistics are not yet unifiable”.

“É possível que as categorias propostas nas teorias lingüísticas atuais (por exemplo, morfema, fonema, constituinte, afixo, etc.) não tenham correlatos neurobiológicos óbvios. Embora fosse surpreendente se o cérebro representasse a linguagem usando categorias marcadamente diferentes daquelas que a Linguística usou com sucesso para explicar uma enorme gama de observações, é naturalmente uma questão empírica aberta que tipo de categorias lingüísticas são representadas no cérebro”⁵⁹² (Poeppel, 1996, p. 643).

Mesmo assim, é comum encontrar na literatura bem como precisamos empregar algumas vezes nessa tese inferências como: a região X do córtex cerebral é responsável pela sintaxe, ou o módulo Y localizado no hemisfério esquerdo é recrutado para a semântica ou até mesmo que os neurônios XY representam as bases neurobiológicas da fonética. Esse tipo e forma de raciocínio retrata o espírito da época das pesquisas em neurociências que acaba interpretando uma descrição com sendo uma explicação, sem falar na disparidade conceitual entre os termos vinculados. Segundo Poeppel, a combinação entre termos com origens epistemológicas diferentes representa o problema de mapeamento conceitual:

“O problema de mapeamento agora é bastante óbvio: Qual é a relação entre a estrutura ontológica das ciências da linguagem e as neurociências? Mais coloquialmente, quais são as linhas/setas que podem ser desenhadas de um lado para o outro [como mostra a figura anterior] que pode capturar o mapeamento sistemático de um conjunto de unidades elementares para outro? A resposta também é óbvia: *não há absolutamente nenhum mapeamento até o momento que possamos entender, mesmo no sentido mais vago*. Não há relações de equivalência, isomorfismos, nem mapeamentos fáceis da infraestrutura teórica das ciências cognitivas para a da neurobiologia. Partindo do pressuposto de que alguém está adotando uma estratégia de pesquisa não dualista, não está totalmente claro como vincular as duas

⁵⁹² Trecho original: “It is possible that the categories proposed in current linguistic theories (e.g., morpheme, phoneme, constituent, affix, etc.) do not have obvious neurological correlates. Although it would be surprising if the brain represented language using categories markedly different from those that Linguistics has used successfully to explain an enormous range of observations, it is naturally an open empirical issue what kind of linguistic categories are represented in the brain”.

abordagens (além de afirmar algumas correlações relativamente grosseiras)”⁵⁹³ (Ibidem, 2012, p. 50, itálico e parênteses do autor).

A diferença ontológica dos conceitos oriundos de ambos os domínios do conhecimento salienta a importância do cuidado epistêmico para formular teorias, desenhar experimentos ou elaborar explicações que envolvem categorias conceituais desiguais. Além disso, sugerir que os NE correspondem aos substratos neurobiológicos da fonética ou da semântica é uma forma de reduzir os componentes fundamentais da linguística ao(s) conceito(s) elementares das neurociências.

“Nesta visão, os dados gerados pela gama de técnicas que são usadas na pesquisa neurolinguística - ou seja, o método neuropsicológico de déficit-lesão, EEG, MEG, PET ou fMRI - fornecem evidências para conceitos, representações e processos que são independentemente motivado pela pesquisa lingüística, e os dados neurolinguísticos dão ao aparato teórico-linguístico conceitual o imprimatur da metodologia *hard science*. Essa abordagem constitui uma forma de reducionismo em que a evidência biológica é 'melhor' ou mais fundamental do que outras evidências”⁵⁹⁴ (Poeppel e Embick, p. 5, aspas simples do autor).

Tal perspectiva reforça a importância de refletir criticamente sobre a presunção de que dados neurocientíficos possuem uma validade epistemológica superior a outras áreas tradicionalmente teóricas. Sem falar na falácia mereológica que é reduzir algum fenômeno da cognição linguística a um grupo de células neurais como os NE. Afinal, a incompatibilidade conceitual entre neurociências e linguística não se restringe a neurolinguística, pois é observada

⁵⁹³ Trecho original: “The mapping problem is now quite obvious: What is the relation between the ontological structure of the language sciences and the neurosciences? More colloquially, what are the lines/ arrows that one can draw from one side to the other [...] that can capture the systematic mapping from one set of elementary units to another? The answer, too, is obvious: *there is absolutely no mapping to date that we understand in even the most vague sense*. There are no equivalence relations, no isomorphisms, no easy mappings from the theoretical infrastructure of the cognitive sciences to that of neurobiology. On the assumption that one is adopting a nondualist research strategy, it is entirely unclear how to link the two approaches (beyond stating some relatively gross correlations)”.

⁵⁹⁴ Trecho original: “On this view, the data generated by the range of techniques that are used in neurolinguistic research -- i.e. the neuropsychological deficit-lesion method, EEG, MEG, PET, or fMRI -- provide evidence for concepts, representations, and processes that are independently motivated by linguistic research, and the neurolinguistic data give the theoretical-linguistic conceptual apparatus the imprimatur of hard science methodology. This approach constitutes a form of reductionism in which biological evidence is ‘better’ or more fundamental than other evidence”.

na intersecção entre outros campos do conhecimento como a neuropsicologia ou a neuropsicanálise. De acordo com Poeppel e Embick, (2017, p. 3, aspas simples do autor), o problema do mapeamento conceitual:

“[...] podem ser aplicados a toda a gama de áreas em que a relação entre cognição e biologia é examinada e, portanto, são 'problemas de interface' gerais para o estudo da cognição, ilustrando assim o que consideramos ser os 'problemas de contato' ou 'problemas de interface' entre linguística e neurociência”⁵⁹⁵.

Tendo em vista que o problema de interface conceitual entre as neurociências e a linguística repercute diretamente sobre as teorias, pressupostos e inferências oriundas das pesquisas em neurolinguística é preciso investigar e esclarecer como um domínio do conhecimento pode ser articulado e co-interpretado com outro campo do saber. Em outras palavras, como “[...] refazer o caminho conceitual da reificação (parte referenciada)”⁵⁹⁶ sem promover a falácia mereológica no sentido mais primitivo do reducionismo (Caetano e Ferreira, p. 151, parênteses do autor). Descrevendo de outra forma, como não subtrair conceitos linguísticos a entidades orgânicos como os NE. Vale acrescentar a seguinte citação:

“A questão maior torna-se então: Que passos precisam ser dados em termos de como falamos sobre um dado domínio principal para sermos unificados com um domínio diferente? Um exemplo histórico que ilustra tal caso vem da relação entre química e física no início do século XX. A química não foi, ao contrário da intuição, reduzida aos princípios da física. Em vez disso, a estrutura conceitual (ontologia) da física teve que mudar para se ajustar aos novos insights vindos da área (supostamente de ordem superior) da química. De forma provocativa, uma situação semelhante pode se apresentar na relação entre o cérebro e as ciências cognitivas”⁵⁹⁷ (Poeppel, 2012, p. 51, parênteses do autor).

⁵⁹⁵ Trecho original: “[...] could be applied to the entire range of areas in which the relationship between cognition and biology is examined, and thus are general ‘interface problems’ for the study of cognition illustrating what we take to be the ‘contact-problems’ or ‘interface-problems’ between linguistics and neuroscience”.

⁵⁹⁶ Trecho original redigido em português.

⁵⁹⁷ Trecho original: “The larger question thus becomes: What steps need to be taken in terms of how we talk about a given domain in order for it to be unified with a different domain? A historical example that illustrates such a case comes from the relation between chemistry and physics at the beginning of the twentieth century. Chemistry was, contrary to intuition, not reduced to the

Cabe recordar que as pesquisas realizadas em neurolinguística pelos cientistas Broca e Wernicke formularam teorias que operavam com conceitos gerais como produção, percepção ou compreensão da fala. Na atualidade as pesquisas trabalham com conceitos mais específicos como fonética, semântica ou sintaxe. Por exemplo, “Estudos típicos buscam identificar a “base cerebral da sintaxe”, ou as “regiões subjacentes à semântica”, ou a “rede cortical que sustenta a fonologia”, e assim por diante”⁵⁹⁸(Poeppel, 2017, p. 163, aspas do autor). Apesar disso, é preciso decompor essas totalidades conceituais em partes menores, ou seja, em elementos mais refinados que podem ser tratados neurobiologicamente. Dessa forma, as pesquisas em neurolinguística podem encontrar explicações para os fenômenos linguísticos que não se resumem a simples descrições.

“Uma abordagem para explorar pode ser chamada de estratégia de “decomposição radical”. Adotar tal estratégia significa questionar se os primitivos que consideramos fundamentais são possivelmente decompostos em elementos mais refinados (que podem não parecer unidades naturais à primeira vista). Por exemplo, da perspectiva das ciências cognitivas, considere um conceito como o “fonema”. Muitas décadas de pesquisa mostram que o fonema é um feixe de unidades (traços) mais elementares e que as generalizações sobre o conhecimento da fonologia não são feitas no nível dos fonemas, mas no nível dos traços. Da mesma forma, considere a tensão entre um conceito teoricamente pouco motivado, como “palavra”, em comparação com um conceito teoricamente bem fundamentado, como “morfema”. Considerando que os morfemas desempenham um papel essencial na explicação de uma série de propriedades de estrutura lexical e acesso lexical, uma noção informal como “palavra” tem sido amplamente malsucedida. Ao analisar conceitos tradicionais em uma resolução mais alta, o campo identificou com sucesso unidades menores (ou diferentes) que parecem fazer um trabalho melhor na captura dos fenômenos sob investigação. Que tipo de unidades

principles of physics. Rather, the conceptual structure (ontology) of physics had to change to adjust to the new insights coming from the (putatively higher order) area of chemistry. Provocatively, a similar situation might present itself in the relationship between the brain and cognitive sciences”.

598 Trecho original: “Specifically, distinctions between linguistic subdomains now form the basis of many if not most neuroscience experiments. Typical studies seek to identify the “brain basis of syntax,” or the “regions underlying semantics,” or the “cortical network supporting phonology,” and so on”.

menores - ou diferentes - podem ser plausíveis? Uma estratégia é identificar representações e operações que possam ser ligadas aos tipos de operação que circuitos elétricos simples podem executar. Pode-se começar, por exemplo, com unidades de representação ou processamento teoricamente bem motivadas derivadas da pesquisa da ciência cognitiva (aqui, digamos, linguística); então tenta-se decompô-los em operações constituintes elementares que são formalmente genéricas (algo como “concatenação”, por exemplo). Agora, em uma inversão de papéis, os linguistas devem desafiar os neurobiólogos a definir e caracterizar os circuitos neurais que podem sustentar algo tão elementar quanto a concatenação. Em vez de buscar a validação das unidades hipotéticas da cognição por redução putativa à neurociência, assume que a evidência cognitiva é *tão fundamental* e motive a pesquisa a buscar um circuito neural que possa executar o tipo de operação conhecido por ser necessário para uma variedade de tarefas cognitivas que estão além do debate. Por que essa postura de cognição (mais musculosa) pode ser útil? O campo tem como certo que as unidades elementares da neurobiologia constituem o fato da questão, a verdade fundamental, de um ponto de vista funcional. Neurônios, dendritos, espinhas dendríticas, colunas corticais, potencialização de longo prazo... A lista de partes extremamente impressionante das neurociências não está em debate. O que se pode questionar, no entanto, é se o arranjo das unidades, conforme discutido atualmente, reflete os arranjos funcionalmente apropriados para dar conta dos fenômenos que sabemos exigir explicação. A interação entre as evidências provenientes da teoria e experimentação da ciência cognitiva, por um lado, e a prática e interpretação da neurobiologia, por outro, precisa ser significativamente mais sinérgica para ir além da correlação e desenvolver modelos genuinamente explicativos”⁵⁹⁹ (Poeppel, 2012, p. 52, aspas, parênteses e itálico do autor).

599 Trecho original: “One approach to explore can be called the “radical decomposition” strategy. Adopting such a strategy means questioning whether the primitives we hold to be foundational are possibly decomposable into finer-grained elements (that may themselves not seem like natural units at first glance). For example, from the perspective of the cognitive sciences, consider a concept such as the “phoneme.” Many decades of research show that the phoneme is a bundle of more elementary units (features) and that generalizations about knowledge of phonology are not made at the level of phonemes but at the level of features. Similarly, consider the tension between a theoretically poorly motivated concept such as “word” compared to a theoretically richly supported concept such as “morpheme.” Whereas morphemes play an essential role in accounting for a range of properties of lexical structure and lexical access, an informal notion such as “word” has been largely unsuccessful. By analysing traditional concepts at a higher resolution, the field has successfully identified smaller (or different) units that appear to do a better job at capturing the phenomena under investigation. What kind of smaller—or different—units

Vale salientar que ao assumir a linguagem como um sistema multidimensional estamos assumindo a ideia de um sistema biológico complexo, pois apresenta diferentes níveis de organização e funcionamento. Portanto, é necessária uma estratégia de pesquisa que comporte uma explicação pluralista. Como mencionado anteriormente, a Teoria Computacional proposta por Marr separa a explicação em diferentes níveis quando o sistema analisado apresenta uma natureza psicofísica. A grande sacada de Marr foi acrescentar um nível intermediário entre o vértice cognitivo (mente) e o físico (cérebro). O nível algoritmo evita formular correlações diretas entre uma função cognitiva e um referente orgânico do cérebro. Em outras palavras, a cognição linguística não pode ser reduzida a um conjunto de áreas corticais ou a redes neurais, pois o nível algoritmo medeia ambas as interfaces como uma infraestrutura computacional elementar. Por esse motivo é preciso saber quais computações estão sendo executadas em cada uma dessas áreas e circuitos neurais.

“O que foi sugerido por Marr é que um nível intermediário (algorítmico) de descrição específica as representações e computações que são executadas pelos circuitos de implementação para formar a base do nível computacional de caracterização. Se essa estratégia estiver no caminho certo, a pesquisa atual deve se concentrar em parte nas operações e algoritmos que sustentam o processamento de linguagem”⁶⁰⁰ (Ibidem, 2012, p. 52, parênteses do autor).

might be plausible? One strategy is to identify representations and operations that can be linked to the types of operation that simple electrical circuits can execute. One might begin, for example, with theoretically well-motivated units of representation or processing deriving from cognitive science research (here, say linguistics); then one attempts to decompose these into elementary constituent operations that are formally generic (something like “concatenation,” for example). Now, in a role reversal, linguists should challenge neurobiologists to define and characterize the neural circuitry that can underpin something as elementary as concatenation. Instead of seeking validation of the hypothesized units from cognition by putative reduction to neuroscience, assume that the cognitive evidence is as foundational and motivate research to seek a neural circuit can execute the type of operation known to be necessary for a variety of cognitive tasks that are beyond debate. Why might such a (more muscular) stance of cognition be helpful? The field has taken for granted that the elementary units of neurobiology constitute the fact of the matter, the ground truth, from a functional point of view. Neurons, dendrites, dendritic spines, cortical columns, long-term potentiation ... The extremely impressive parts list of the neurosciences is not under debate. What one might question, though, is whether the arrangement of units as they are currently discussed reflects the functionally appropriate arrangements to account for the phenomena we know to require explanation. The interaction between the evidence coming from cognitive science theory and experimentation, on one hand, and the practice and interpretation of neurobiology, on the other, needs to be significantly more synergistic to go beyond correlation and develop genuinely explanatory models”.

600 Trecho original: “What was suggested by Marr is that an intermediate (algorithmic) level of description specifies the representations and computations that are executed by the

É importante deixar claro que a cognição linguística não pode ser explicada e reduzida a simples concepção de “circuitos neurais da linguagem”. Além disso, a fonética, a semântica e a sintaxe também não precisam ser correlacionadas diretamente com o nível implementacional do cérebro, pois ao sugerir que a sintaxe está sendo processada pela subárea de Broca (BA 44), a interpretação está saltando do nível computacional para o implementacional sem levar em consideração o nível intermediário do algoritmo. Além do mais, é importante saber que uma determinada região não está processando a sintaxe *per se*, mas sim, os subcomponentes computacionais da sintaxe (Poeppel e Embick, 2017). Afinal, é preciso decompor essas totalidades conceituais em partes menores, ou seja, em elementos mais refinados que podem ser explicados segundo a computação de cada circuito recrutado. Segundo Poeppel:

“[...] uma visão tradicional, quase modular (atribuindo fonologia aqui, sintaxe ali, etc.) não pode ter sucesso, em parte porque os estudos espaciais sugerem que será necessária uma decomposição computacional muito mais refinada dos domínios linguísticos em representações e cálculos elementares”⁶⁰¹ (Ibidem, 2012, p. 38).

Colocando em outras palavras, é preciso identificar as operações elementares e genéricas que computam as representações primitivas oriundas do campo do conhecimento da linguística, ou seja, as menores unidades computacionais que compõem as totalidades conceituais da ciência da linguagem. Chomsky lembra que alguns trabalhos (Caramazza 1997; Grodzinsky 1990; Grodzinsky e Finkel 1998) que examinaram lesões corticais em regiões atribuídas a computação da linguagem sugerem que existe:

“[...] uma subparte ainda menor da morfologia flexional que pode estar desempenhando o papel central na determinação tanto do funcionamento quanto da variedade superficial da linguagem: a morfologia flexional que carece de interpretação semântica. Esse subcomponente estreito também pode ser o que está envolvido na

implementational circuitry to form the basis of the computational level of characterization. If this strategy is on the right track, current research should in part focus on the operations and algorithms that underpin language processing”.

⁶⁰¹ Trecho original: “[...] a traditional, quasi modular view (assigning phonology here, syntax there, etc.) cannot succeed, in part because the spatial studies suggest that much more fine-grained computational decomposition of linguistic domains into elementary representations and computations will be required”.

onipresente e bastante surpreendente propriedade de “deslocamento” da linguagem humana”⁶⁰² (Chomsky, 2000c, p. 25, aspas do autor)

Uma questão que requer atenção é “[...] qual seria o nível mais apropriado de decomposição”⁶⁰³ (Poeppel, 2012, p. 40). Ou seja, quais unidades computacionais integram a totalidade de conceitos como fonética, semântica e sintaxe? Além disso, essas representações elementares podem ser testadas por experimentos de neurolinguística em redes neurais *online*? Ao refletir sobre a representação conceitual do termo fonética e semântica e sua correlação com os estudos em neurobiologia Chomsky declara que:

“[...] as generalizações [conceituais] muitas vezes são enganosas ou piores, porque se limitam a fenômenos observados e seus aparentes arranjos estruturais – paradigmas morfológicos, por exemplo. Como foi descoberto em todas as ciências, esses padrões mascaram princípios de caráter diferente que não podem ser detectados diretamente no arranjo dos fenômenos”⁶⁰⁴ (Chomsky, 2000c, p. 24).

De modo geral, a investigação sobre o conjunto de primitivos da linguística, isto é, os conceitos elementares da linguagem precisam ser decompostos em arranjos ou unidades menores pelos linguistas para que assim os neurocientistas investiguem a computação dessas subpartes no nível neurobiológico. Aliás:

“Um objetivo primordial é trazer os corpos de doutrina relativos à linguagem para uma relação mais próxima com aqueles que emergem das ciências do cérebro e outras perspectivas. Podemos antecipar que corpos de doutrina mais ricos irão interagir, estabelecendo condições significativas de um nível de análise para outro, talvez convergindo finalmente em uma verdadeira unificação”⁶⁰⁵ (Ibidem, 2000, p. 27).

⁶⁰² Trecho original: “[...] an even smaller subpart of inflectional morphology may be playing the central role in determining both the functioning and surface variety of language: inflectional morphology that lacks semantic interpretation. This narrow sub-component may also be what is involved in the ubiquitous and rather surprising “displacement” property of human language”.

⁶⁰³ Trecho original: “[...] what the most appropriate level of decomposition might be”.

⁶⁰⁴ Trecho original: “[...] the generalizations are often misleading or worse, because they are limited to observed phenomena and their apparent structural arrangements – morphological paradigms, for example. As has been discovered everywhere in the sciences, these patterns mask principles of a different character that cannot be detected directly in arrangement of phenomena”.

⁶⁰⁵ Trecho original: “A primary goal is to bring the bodies of doctrine concerning language into closer relation with those emerging from the brain sciences and other perspectives. We may

Nesse sentido, a(s) teoria(s) linguística(s) pode orientar a investigação neurocientífica no nível algoritmo, evitando assim correlações grosseiras e reducionistas como vem sendo realizado pelo *zeitgeist* das pesquisas em neurociências. Afinal:

“[...] uma abordagem de decomposição mais radical pode ser necessária para desenvolver hipóteses de ligação bem-sucedidas. Muitas das questões que estão no centro da pesquisa atual são extremamente relevantes, e apenas uma ligeira mudança de perspectiva pode fornecer uma visão diferente de como elas ajudam a enfrentar o desafio de vinculação. Por exemplo, fazer mapas ou localizar funções continua a ser extremamente influente; mas a localização da função pode ser melhor explicada como localização da computação local – onde a computação é agora interpretada como o conjunto genérico de operações de nível médio que fundamenta a representação cognitiva da computação”⁶⁰⁶ (Ibidem, 2012, p. 53).

Em suma, apesar dos experimentos em neurolinguística identificarem a localização espacial de áreas ou circuitos neurais recrutados mediante um estímulo ou tarefa linguística, a interpretação dos dados deve ir além do nível implementacional, pois é preciso saber o tipo de computação que está sendo realizado naquela área entre seus circuitos. Por isso, “Os mapas que fazemos serão, portanto, mapas de computações”⁶⁰⁷ (Ibidem, 2012, p. 46). Além do mais, as operações mediadas por certas áreas devem ser identificadas com conceitos genéricos da linguística e não com totalidades conceituais. Logo, é necessário conciliar o arranjo das representações conceituais da(s) teoria(s) da linguagem com os cálculos computados no nível algoritmo. Afinal, o campo de pesquisa da neurolinguística precisa co-interpretar e unir diferentes dados experimentais e conceitos teóricos sem promover um reducionismo entre ambas as disciplinas.

anticipate that richer bodies of doctrine will interact, setting significant conditions from one level of analysis for another, perhaps ultimately converging in true unification”.

⁶⁰⁶ Trecho original: “[...] a more radical decomposition approach might be necessary to develop successful linking hypotheses. Many of the issues that lie at the centre of current research are extremely relevant, and only a slight shift in perspective can provide a different view on how they help address the linking challenge. For example, making maps, or localization of function, continues to be extremely influential; but localization of function might better be spelled out as localization of local computation—where computation is now construed to be the midlevel, generic set of operations that underlie cognitive representation of computation”.

⁶⁰⁷ Trecho original: “The maps we make will therefore be maps of computations”.

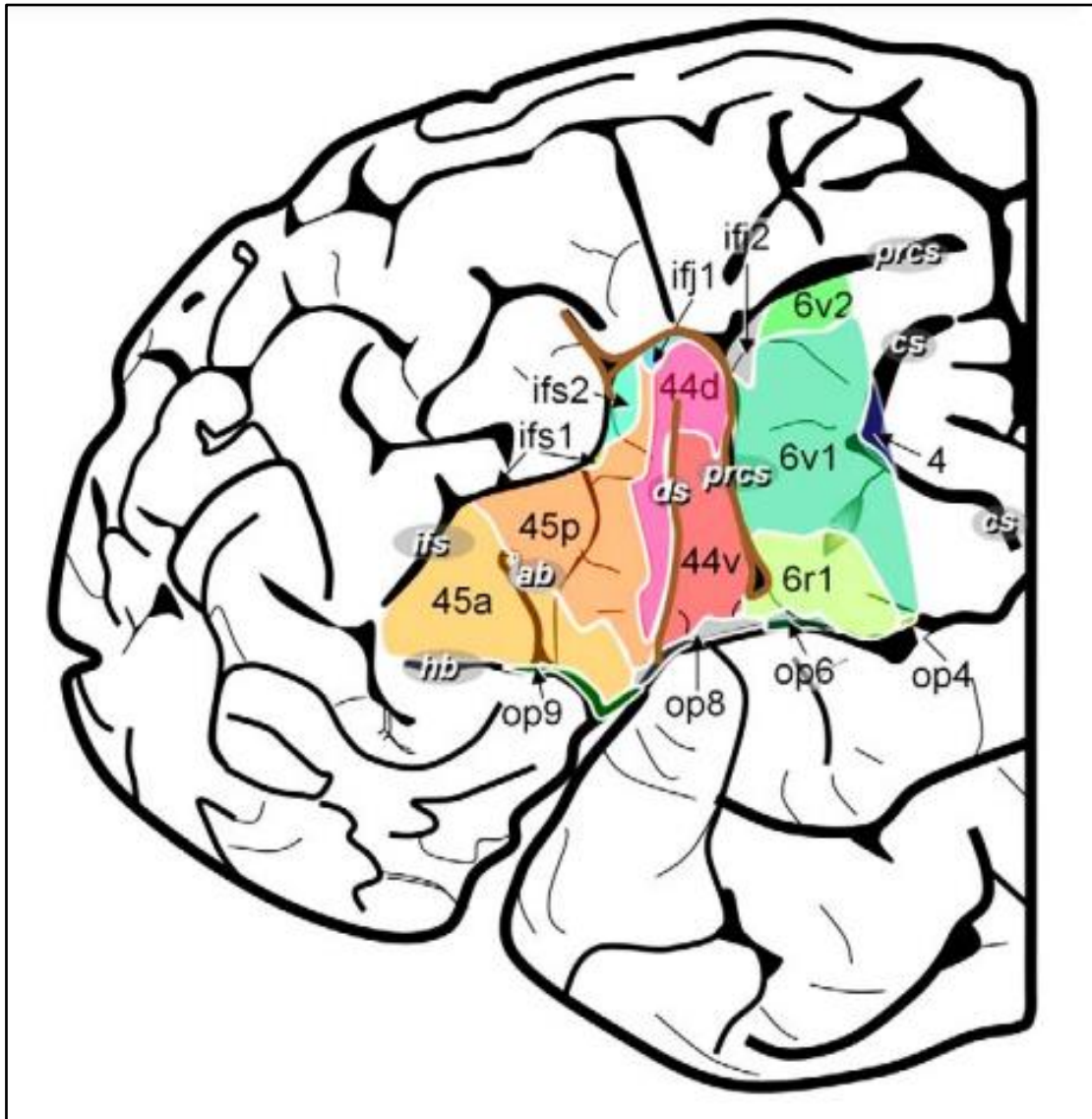
Para concluir vale citar o seguinte comentário feito por Poeppel no artigo intitulado “A influência de Chomsky na neurociência da linguagem”⁶⁰⁸ (2017):

“Os divisores movidos pela decomposição inspirada em Marr e as conquistas da linguística podem almejar, além disso, conectar-se ainda mais diretamente à neurociência e buscar hipóteses de identificação que liguem os supostos primitivos da representação e computação linguística e os primitivos da neurociência. Para superar os desafios conjuntos do problema de incompatibilidade de granularidade [problema de mapas] e o problema de incomensurabilidade ontológica [problema de mapeamento conceitual], [...] parece prático considerar como os primitivos hipotéticos podem ser ainda mais decompostos para produzir um tipo de linguística no “nível de circuito”. Por exemplo, se uma operação elementar como Merge requer uma etapa de concatenação e uma etapa de rotulagem, esses são os tipos de operações mínimas que poderiam ser convertidas em um circuito que poderia ser implementado neurofisiologicamente? E que outras operações podem ser relevantes para investigar? A tarefa dos linguistas é, a meu ver, apresentar uma lista de partes bem motivada de representações e operações atômicas e decompô-las posteriormente em etapas/primitivas que possam ser implementadas. É então papel dos neurocientistas identificar como tais primitivos podem ser sustentados neurobiologicamente. Ainda não sabemos as respostas biológicas”⁶⁰⁹ (Poeppel, 2017, p. 171, aspas do autor).

⁶⁰⁸ Título original: “The influence of Chomsky on the Neuroscience of Language”.

⁶⁰⁹ Trecho original: “Splitters moved by Marr-inspired decomposition and the achievements of linguistics might aim, in addition, to connect even more directly to neuroscience and pursue identifying hypotheses linking the putative primitives of linguistic representation and computation and the primitives of neuroscience. To overcome the joint challenges of the granularity mismatch problem and the ontological incommensurability problem discussed at the outset, it seems practical to consider how the hypothesized primitives might be further decomposed to yield to a kind of “circuit-level” linguistics. For example, if an elementary operation such as Merge requires a concatenation step and a labeling step, are these the types of minimal operations that could be cashed out as a circuit that could be neurophysiologically implemented? And what other operations might be relevant to investigate? The task of linguists is, in my view, to put forth a well-motivated parts-list of atomic representations and operations and further decompose these into steps/primitives that might be implemented. It is then the role of neuroscientists to identify how such primitives can be neurobiologically supported. We do not yet know the biological answers”.

Figura 88 - Mapa cortical da organização espacial da área de Broca.



Fonte: Amunts et al., (2010, p. 13). Vista lateral do hemisfério esquerdo de um cérebro *post mortem* mostrando a organização espacial da área de Broca que pode conter ao menos cinco ou dez áreas dependendo de como se conta. Tendo em vista que cada área é delimitada de acordo com o tipo de célula neural “[...] é extremamente provável que cada sub-região realize ao menos um tipo de computação local diferente – afinal, elas são anatomicamente distintas”⁶¹⁰ (Poeppel, 2012, p. 39, *italico do autor*). Apesar do mapa ter sua utilidade espacial, sua análise e interpretação no nível algoritmo pode fornecer informações sobre a natureza dos cálculos ou operações computadas nessas áreas. Afinal, considerando que a área de Broca processa sinais de entrada, saída e representações internas que vão além de estímulos ou tarefas linguísticas, é pertinente sugerir que diferentes tipos de computações ocorrem nessas áreas com informações oriundas de outros sistemas sensoriais, cognitivos ou comportamentais. Sem falar na questão da assimetria cortical entre os hemisférios que acentua a importância de considerar computações específicas de acordo com a singularidade de cada área.

⁶¹⁰ Trecho original: “[...] it is extremely likely that each subregion performs at least one different local computation—after all, they are anatomically distinct”.

Antes de concluir esse capítulo vale mencionar um terceiro e último *insight* que resulta da adoção da teoria de Marr aplicada as pesquisas sobre a correlação entre genética-cérebro-linguagem. Como mencionado anteriormente Chomsky assume o pressuposto “[...] que uma mutação tenha ocorrido nas instruções genéticas para o cérebro que foi então reorganizado de acordo com as leis da física e da química para instalar a faculdade da linguagem”⁶¹¹ (Chomsky, 1998, p. 43). Logo:

“[...] uma ligeira religação do cérebro [...] forneceu a base para o pensamento [linguístico] criativo e ilimitado, [ou seja] o “grande salto à frente” revelado no registro arqueológico, e as diferenças notáveis que separam os humanos modernos de seus predecessores e do resto do reino animal”⁶¹² (Chomsky, 2009, p. 16, aspas do autor):

Interpretando essa colocação com base na Teoria Computacional de Marr é preciso determinar em qual nível de análise os processos genéticos aconteceram. Evidentemente que a mutação ocorreu no nível implementacional, ou seja, em determinadas células neurais e seus circuitos constituintes. Outro ponto é saber quais operações, ou melhor, quais sub-rotinas computacionais são mediadas por esses neurônios. Nesse caso, é interessante pesquisar que tipo de cálculos neurais eram realizados antes da mutação e como o fluxo de sinais passou a ser computado depois. Por fim, é necessário investigar o papel dessas células no nível computacional, ou seja, sua contribuição para a representação virtual da linguagem. Esses pontos podem ser examinados a partir dos NE, ou seja, a constituição genética dessas células neurais e sua influência sobre a organização estrutural (implementacional), e funcional (algoritmo). Além disso, o exame genético dos NE no córtex pré-motor de primatas não humanos pode ser comparado com os caracteres genéticos dos NE na área de Broca, possibilitando assim inferir semelhanças e diferenças que podem apontar para o tipo de computação realizado por essa classe de neurônios. Por fim, é preciso conhecer o papel explícito dos NE no nível computacional considerando a influência da determinação genética nos níveis implementacional e algoritmo. De acordo com

⁶¹¹ Texto original redigido em português.

⁶¹² Trecho original: “[...] some slight rewiring of the brain [...] providing the basis for unbounded and creative thought, the “great leap forward” revealed in the archaeological record, and the remarkable differences separating modern humans from their predecessors and the rest of the animal kingdom”.

Poeppel, a estratégia de pesquisa de Marr pode ser adotada para as pesquisas sobre a correlação entre genética-cérebro-linguagem, pois

“[...] o trabalho neste domínio tem a chance de ser capaz de relacionar a entre os níveis, os circuitos que permitem computações específicas e os mecanismos cognitivos relevantes”⁶¹³ (Poeppel, 2011, p. 385).

Além de estabelecer os níveis de análise e compreensão é preciso examinar o conjunto de operações que ocorrem no nível algoritmo. Como mencionado, a FL assim como seus componentes, isto é, a fonética, a semântica e a sintaxe representam sistemas complexos que provavelmente não tenham correlatos neurobiológicos evidentes. Por isso, é preciso decompor esses sistemas em unidades menores para que possam ser atribuídas a entidades orgânicas do cérebro, ou seja, aos neurônios e suas redes que computam o fluxo de sinais linguísticos. Em outras palavras é necessário identificar o “[...] inventário de operações elementares subjacentes ao processamento da linguagem”⁶¹⁴ (Ibidem, 2011, p. 382). Vale lembrar que não está claro até que ponto esses sistemas podem ser decompostos, porém a estratégia de pesquisa não aceita suposições do tipo: a sintaxe é processada na região cortical X e a fonética é computada pelos circuitos XY. De acordo com Poeppel:

“A recomendação é pegar um determinado domínio de processamento da linguagem, digamos, o reconhecimento de palavras, e decompô-lo em elementos que possam ser plausivelmente mapeados em circuitos que possam ser instanciados no tecido nervoso. Observe que este não é um exercício de reducionismo como normalmente é entendido. Embora o objetivo seja de fato determinar os pedaços básicos, o objetivo não é simplesmente mapear o que consideramos primitivos linguísticos para o que sabemos ser constituintes biologicamente disponíveis (digamos algo como um mapeamento da palavra para o neurônio). Em parte, o problema reside no fato de não sabermos qual deveria ser o mapeamento. Por exemplo, não temos nenhuma razão para acreditar que “sílabas” mapeia um dendrito, ou neurônio, ou conjunto, ou coluna cortical, ou algum conjunto de partes até então desconhecido. A redução é um plano de jogo sensato se a estrutura

⁶¹³ Trecho original: “[...] the work in this domain stands a chance of being able to relate across levels genetics, the circuitry enabling specific computations, and the relevant cognitive mechanisms”.

⁶¹⁴ Trecho original: “[...] the inventory of elementar operations underlying language processing”.

ontológica do domínio subjacente for conhecida, mas afirmo que as “coisas” neurobiológicas também ainda não são compreendidas em um nível que permita a redução no sentido padrão. Assim, em linhas gerais, o objetivo é encontrar representações/computações genéricas do tipo que possam *ser ao mesmo tempo constitutivas de uma representação ou processo linguístico e um elemento plausível que possa ser instanciado em um circuito neuronal*⁶¹⁵ (Ibidem, 2011, p. 386, parênteses, aspas e itálico do autor).

Tendo em vista que o fluxo de processamento de informações linguísticas é computado em vias neurais segregadas e paralelas que perpassam por ambos hemisférios cerebrais é preciso:

“[...] dissecar o circuito neural dentro de uma região e perguntar que aspecto da caixa de ferramentas genética pode produzir a célula anatômica observada e a estrutura do circuito. Uma determinada região e sua função podem estar implicadas apenas no processamento da linguagem ou, alternativamente, podem aparecer no processamento de outros domínios cognitivos. Criticamente, a anatomia funcional reflete que o problema é espacialmente decomposto em uma série de sub-rotinas”⁶¹⁶ (Ibidem, 2011, p. 384).

Essa série de sub-rotinas ou de cascatas computacionais pode ser examinada e comparada com base nos fatores genéticos dessas células neurais propiciando assim um *insight* sobre a correlação entre genética, cérebro e linguagem. Aliás, considerando a natureza poligenética do sistema linguístico, juntamente com as diferenças anatômicas e funcionais de cada área cerebral e

⁶¹⁵ Trecho original: “The recommendation is to take a given domain of language processing, say word recognition, and decompose it into elements that could be plausibly mapped onto circuits that can be instantiated in nervous tissue. Note that this is not an exercise in reductionism as it is typically understood. While the goal is indeed to determine the basic bits and pieces, the goal is not simply to map what we take to be linguistic primitives on to what we know to be biologically available constituents (say something like a mapping from word to neuron). In part, the problem lies in the fact that we do not know what the mapping should even be. For example, we have no reason to believe that “syllable” maps on to dendrite, or neuron, or ensemble, or cortical column, or some heretofore unknown assembly of parts. Reduction is a sensible game plan if the ontological structure of the underlying domain is known, but I contend that neurobiological “stuff,” too, is not yet understood at a level that licenses reduction in the standard sense. So, broadly speaking, the aim is to find generic representations/computations of the sort that can *at the same time be constitutive of a linguistic representation or process and be a plausible element that can be instantiated in a neuronal circuit*”.

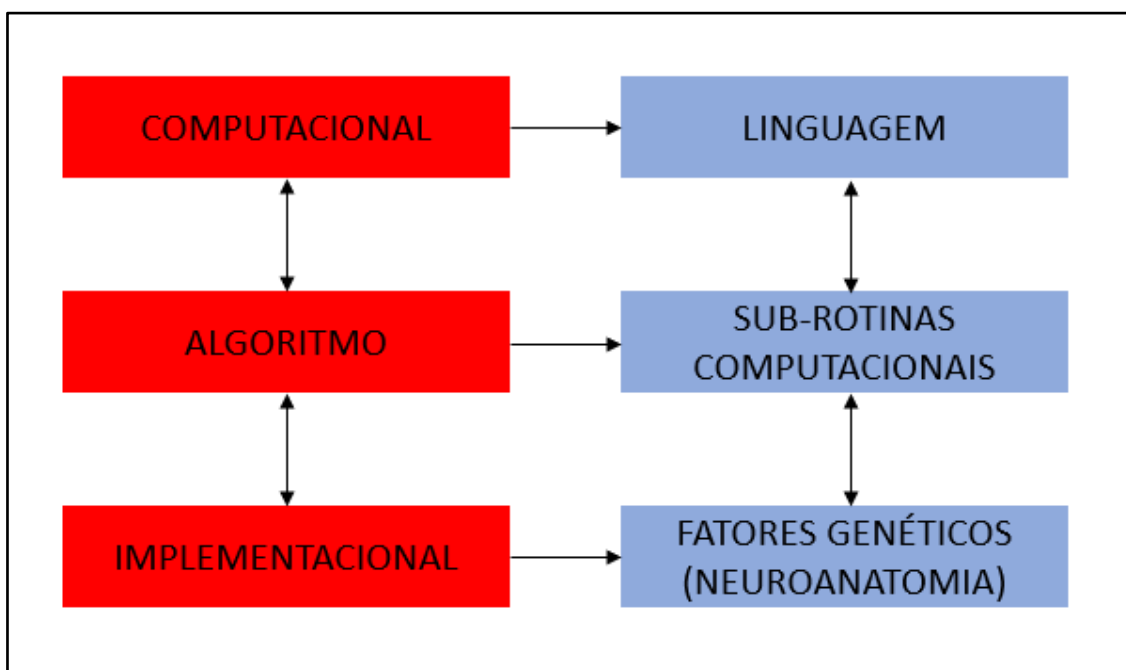
⁶¹⁶ Trecho original: “[...] dissect the neural circuitry within a region and ask what aspect of the genetic toolbox might yield the observed anatomic cell and circuit structure. A particular region and its function may be implicated only in language processing or, alternatively, may show up in the processing of other cognitive domains. Critically, the functional anatomy reflects that the problem is spatially decomposed into a number of subroutines”.

de seus circuitos é plausível assumir que um conjunto complexo de operações no nível algoritmo pode ter sido determinado por fatores genéticos. No entanto, essas computações não representam a faculdade da linguagem como um todo ou seus componentes fonético, semântico e sintático, mas sim as operações elementares que subjazem a manifestação virtual desses sistemas. Nesse sentido, os dados produzidos pela genética de neuroimagem devem ser interpretados diferentemente da concepção de que “os genes da área X do córtex cerebral determinaram que os circuitos neurais dessa área computam a sintaxe”. Ou melhor dizendo, que o gene FOXP2 delineou a organização estrutural e funcional de redes neurais especializadas na codificação de sinais fonéticos. Novamente, esse tipo de correlação representa um salto do nível computacional para o implementacional ou vice-versa sem considerar o nível intermediário do algoritmo. É como se os fatores genéticos implementados nos neurônios se correlacionassem diretamente com o nível cognitivo. Portanto, a interpretação dos dados gerados pela genética de neuroimagem precisa considerar a contribuição computacional de cada área. Sendo assim, as pesquisas passam a investigar como os fatores genéticos de determinados neurônios determinaram a computação funcional dos mesmos e qual é a contribuição dessas sub-rotinas de processamento para o nível computacional. De acordo com Poeppel:

“Especificamente, suponhamos que os estudos genéticos tenham um sucesso perfeito e que disponhamos de um mapa detalhado das bases genéticas do fenótipo linguístico. Algo muito fundamental está faltando para os modelos causais: uma compreensão dos circuitos reais que executam o processamento. Os genes não falam; pessoas falam. Em particular, é “a parte do cérebro das pessoas” que fala (e ouve, compreende e interpreta...). Portanto, para começar a ter uma compreensão explicativa de como nossa composição genética fundamenta as propriedades estruturais e funcionais na base da fala e da linguagem - para ter hipóteses satisfatórias de ligação mecanicista entre o comportamento linguístico e seus fundamentos genéticos - os dados correlativos mediados entre genética e linguística (e psicologia/ciência cognitiva, de forma mais geral) não pode prescindir de uma compreensão de como o genoma/epigenoma se relaciona com o circuito neuronal que é a infraestrutura de implementação para a cognição. Considero que o objetivo desta direção de pesquisa é

fornecer um *mapeamento da genética aos circuitos neurais, à neurociência computacional e ao processamento da linguagem*⁶¹⁷ (Poeppel, 2011, p. 383, aspas, parênteses e itálico do autor).

Figura 89 - Níveis de análise e explicação segundo a teoria de Marr aplicados a correlação genética-cérebro-linguagem.



Fonte: Produção do próprio autor. Examinando o esquema de baixo para cima temos o nível implementacional onde os fatores genéticos determinaram a organização neuroanatômica de redes neurais especializadas na computação do fluxo de sinais linguísticos. Essas operações aludem ao nível algoritmo onde sub-rotinas computacionais estabelecidas geneticamente processam dados específicos da linguagem que são representadas no nível computacional, ou seja, a manifestação abstrata ou virtual da FL. Cabe salientar que o nível algoritmo processa operações computacionais genéricas, ou seja, unidades funcionais que compõem a infraestrutura da linguagem. Logo, parece improvável que haja um gene para a linguagem ou para a fonética, semântica ou sintaxe, mas sim, um conjunto de fatores poligenéticos que estabeleceram os tipos de sub-rotinas de operações que medeiam o nível implementacional e computacional.

⁶¹⁷ Trecho original: “Specifically, let us assume that the genetic studies succeed perfectly and that we have available a detailed map of the genetic foundations of the linguistic phenotype. Something very foundational is missing for causal models: an understanding of the actual circuits executing the processing. Genes do not speak; people do. In particular, it is “the brain part of people” that does the speaking (and hearing, comprehending, and interpreting...). Therefore, to begin to have an explanatory understanding of how our genetic makeup underlies the structural and functional properties at the basis of speech and language—to have satisfying mechanistic linking hypotheses between linguistic behavior and its genetic foundations—the correlative data mediating between genetics and linguistics (and psychology/cognitive science, more generally) cannot do without an understanding of how the genome/epigenome relates to the neuronal circuitry that is the implementational infrastructure for cognition. I take it to be the goal of this research direction to provide a *mapping from genetics to neural circuitry to computational neuroscience to language processing*”.

Tendo em vista os conteúdos pesquisados nesse capítulo resumimos as principais ideias da seguinte forma:

- a) O trabalho dos pesquisadores Gall, Broca, Wernicke, além do caso Phineas Gage e os estudos sobre a natureza estrutural e funcional dos sistemas sensoriais contribuíram para a consolidação da metodologia de pesquisa em neurociências baseada no mapeamento cerebral do sistema cognitivo, comportamental e sensorial. A elaboração de mapas neurobiológicos salientou o entendimento que é possível a partir da observação clínica identificar áreas cerebrais e corticais associadas ao funcionamento de faculdades cognitivas, além de habilidades comportamentais e do processamento sensorial. Basicamente, os mapas foram elaborados com base em casos de lesão crânio encefálica, ou seja, o paciente X apresenta um traumatismo na área Y, depois do acidente o paciente ficou com a capacidade de articulação da fala comprometida, logo, a região Y era reconhecida como a área de controle motor da fala. Dessa forma as regiões cerebrais foram identificadas e mapeadas segundo o raciocínio causal.
- b) O progresso tecnológico das neurociências facilitou o mapeamento minucioso de áreas, subáreas, assim como o exame estrutural e funcional de uma única célula neural. No entanto, a localização neuroanatômica de uma determinada função reproduz a interpretação causal e linear entre uma área e uma operação. A disparidade entre o avanço tecnológico e a elaboração de novas teorias retrata o espírito da época das pesquisas em neurociências que acentuam a noção equivocada que localizar significa explicar. Ao vincular e reduzir uma capacidade cognitiva a uma determinada região do cérebro os neurocientistas promovem a falácia mereológica.
- c) A pesquisa sobre a natureza estrutural e funcional da linguagem requer uma abordagem metodológica pluralista. Considerando a FL um sistema multidimensional, ou seja, que perpassa pelo corpo e pela mente é

necessário separar a investigação em níveis de análise e explicação de acordo com as partes do sistema.

- d) A teoria computacional elaborada por David Marr separa os sistemas psicofísicos em três níveis de investigação. O nível computacional representa o sistema cognitivo, ou seja, a mente, suas faculdades e sua manifestação virtual/abstrata. O nível algoritmo equivale a natureza funcional das células neurais, isto é, seu padrão de funcionamento unitário ou em rede. O nível implementacional corresponde ao plano neuroanatômico onde as características estruturais das células neurais são identificadas e localizadas espacialmente.
- e) A natureza estrutural e funcional dos NE e sua correlação com a linguagem pode ser examinada segundo a teoria de Marr. Os NE estão implementados na área de Broca, seu funcionamento ainda não é inteiramente conhecido, logo é preciso examinar o nível algoritmo. O papel dessa classe de neurônios também deve ser reconhecido no nível computacional para que assim seja possível identificar a correlação dos NE com a linguagem.
- f) O nível algoritmo pode ser examinado pela estratégia de pesquisa da análise por síntese, assim como pela inferência bayesiana. Ambas metodologias assumem o pressuposto que o fluxo de sinais que percorre o cérebro é difundido de forma segregada e paralela em diferentes regiões nos dois hemisférios e são processados com base nas informações de *input*, juntamente com as representações ou conteúdos interiorizados, além dos dados de *output*. O nível algoritmo evita que uma função cognitiva seja reduzida a uma região cortical. Por ser um nível intermediário é preciso reconhecer as sub-rotinas computacionais que medeiam o nível implementacional e computacional. Os mapas neurobiológicos continuam sendo mapas localizacionistas, porém não se restringem a identificação espacial dos substratos neurais de uma função, pois os mapas vão indicar o tipo de computação realizada em cada área. O problema dos mapas ou o imperativo cartográfico pode ser esclarecido

segundo os níveis de análise e explicação de sistemas complexos multidimensionais.

- g) Vincular ou associar conceitos teóricos com origens epistemológicas diferentes pode gerar correlações grosseiras que não explicam muita coisa. Assumir que a subárea de Broca (BA 44) está envolvida com a sintaxe é um exemplo de como um sistema do nível computacional foi reduzido ao plano neuroanatômico sem considerar o nível intermediário de processamento. Considerando que o fluxo de sinais linguísticos é computado de forma segregada e paralela nos dois hemisférios cerebrais é provável que os sistemas fonético, semântico e sintático não sejam identificados em uma área monolítica, assim como esses sistemas devem ser fragmentados ou decompostos em unidades menores ou diferentes que podem ser tratadas de acordo com as sub-rotinas computacionais mediadas pelas áreas recrutadas. Logo, é necessário decompor as totalidades conceituais da linguística para serem co-interpretadas com os conceitos das neurociências.
- h) A correlação entre genética, cérebro e linguagem é multidimensional, logo é preciso uma abordagem pluralista. Separar as análises e as explicações em níveis pode ser uma forma de abordar os problemas que emergem do campo de pesquisa da neurolinguística evolutiva. Basicamente os fatores genéticos são identificados no nível implementacional do cérebro, assim como sua manifestação é observada no nível algoritmo que por fim repercute no vértice computacional da linguagem.
- i) A aproximação entre o campo do conhecimento da linguística e das neurociências envolve questões empíricas e teóricas que perpassam por diferentes sistemas e níveis de análise e compreensão. Sendo um sistema multidimensional, a linguagem exige estratégias de pesquisas e articulações conceituais que expliquem cientificamente a correlação entre o cérebro e a FL sem promover a falácia mereológica e o reducionismo conceitual a partir do raciocínio linear e causal. A teoria computacional de Marr pode ser um meio de investigação promissor, no entanto é preciso

reconhecer que a quantidade de perguntas e dúvidas continua sendo maior que o de respostas e explicações.

CONCLUSÃO

O estudo científico da linguagem exige um trabalho intelectual multidisciplinar. A natureza multidimensional da linguagem permite ao ser humano comunicar seus pensamentos pela via do corpo, seja pela boca que fala, pelas mãos que escrevem ou por gestos que comunicam uma ideia ou intenção. O fluxo de sinais linguísticos que atravessam a esfera mental e corporal expressa como a dicotomia mente-corpo se manifesta pela via da linguagem. Além disso, a mediação entre abstrações linguísticas e sua manifestação física perpassa pelo vértice neurobiológico. Em vista disso, o estudo científico da linguagem abrange diferentes formas e tipos de conhecimentos que precisam ser articulados.

O objetivo de pesquisa da tese foi estudar, conhecer e explicar a correlação estrutural e funcional entre o cérebro e a linguagem. Para delimitar o tema do trabalho escolhemos os NE por serem reconhecidos na literatura como um dos substratos neurobiológicos da linguagem. Além disso, recorreremos a teoria linguística de Chomsky para direcionar as reflexões sobre a FL e seus componentes que inclui a fonética, a semântica e a sintaxe.

Com base em uma investigação de natureza descritiva e exploratória iniciamos a tese com um panorama histórico sobre as primeiras hipóteses sobre como o funcionamento da linguagem e a organização anatômica do cérebro foram vinculados e co-interpretados. O conhecimento clínico oriundo do exame de pacientes com alguma lesão crânio encefálica praticamente inaugurou o campo de pesquisa da neurociência da linguagem.

Também apresentamos e examinamos os estudos sobre uma classe de células neurais que foi descoberta inicialmente no córtex cerebral de primatas não humanos. Os neurônios da região 6 (setor F5) no córtex pré-motor de símios passou a ser chamado de NE devido suas características funcionais. O grupo de Parma utilizou a palavra espelho como referência ao *modus operandi* dessas células que disparam mediante a percepção ou execução de uma ação. Nesse sentido, o comportamento funcional dos NE refletem elementos característicos de uma ação visualizada ou realizada. O progresso das pesquisas possibilitou

constatar que os neurônios dessa área processam informações visuais, auditivas e motoras, por isso foram classificados como multimodais. Ao considerar que os símios possuem uma linguagem rústica em relação a humana, o grupo de Parma sugeriu que os NE representam o substrato neurobiológico de uma protolíngua, pois suas características funcionais viabilizam ao animal reconhecer a intenção de uma ação ou o sentido de um som emitido por outro indivíduo do mesmo grupo.

A ideia de que essa classe de células neurais poderia existir no córtex cerebral humano emergiu da observação que a área 6 (setor F5) apresenta um certo grau de homologia estrutural e funcional em relação a área de Broca. Primeiro, porque ao comparar o cérebro dos símios com o do humano ambas as regiões estavam localizadas no mesmo espaço cortical. Além da homologia estrutural, os pesquisadores de Parma observaram que as características funcionais dos NE se assemelhavam inversamente aos déficits neurocognitivos da apraxia. A incapacidade de reconhecer o sentido de um gesto, de um som ou o uso pragmático de um objeto salientou a hipótese dos neurocientistas italianos de que possivelmente existem células neurais com características funcionais homologas as reconhecidas em primatas não humanos. Por fim, a característica multimodal dos NE motivou o grupo de Parma a retomar a teoria motora da percepção da fala (Liberman et al., 1967; Liberman e Mattingly, 1985), para investigar a correlação funcional entre o som da fala e a articulação motora da boca. Com base nesses três pressupostos as pesquisas neurocientíficas utilizaram tecnologias não invasivas para investigar a existência de NE no córtex cerebral humano e teorizar sobre seu papel mediante o processamento da linguagem.

Os estudos iniciais com seres humanos examinaram a correlação entre o funcionamento dos NE e a fonética. Utilizando recursos tecnológicos como a neuroimagem ou métodos de estimulação ou inibição funcional de circuitos neurais, a equipe de Parma sugeriu que os NE participam da codificação do fluxo de sinais linguísticos que medeiam a articulação motora dos órgãos da fala, em específico o controle motor da boca. A ideia central é que os códigos acústicos da linguagem servem como um guia para a percepção e o reconhecimento de comandos motores da fala dos quais os NE viabilizam identificar o sentido dos

sinais acústicos com base no repertório de informações consolidadas no sistema sensorio motor do emissor/receptor.

A cooperação funcional dos NE na codificação de informações semânticas foi sugerida a partir da teoria incorporada da representação semântica. O movimento pós-cognitivista da mente incorporada orientou as pesquisas a investigar a correlação entre o sistema sensorio motor e o processamento semântico de palavras cujo conteúdo representa alguma parte do corpo humano, assim como termos que descrevem ações realizadas com algum membro ou modalidades sensoriais. Os NE foram apontados como sendo um dos substratos neurobiológicos da semântica, pois suas características funcionais comportam a capacidade de reconhecer o sentido semântico de uma palavra com base no repertório de esquemas sensorio motor do emissor/receptor que possibilita a simulação imagética e acústica do sinal linguístico.

O caráter multimodal dos NE também orientou as pesquisas a investigar a correlação entre essa classe de neurônios e a sintaxe. Ao considerar a sintaxe como um programa neuromotor especializado na organização e sequenciamento hierárquico das palavras em uma frase ou discurso, a percepção e a produção serial de informações linguísticas também perpassam pelo funcionamento sensorio motor dos NE. Recorrendo a resultados obtidos por experimentos em neuroarqueologia o grupo de Parma sugeriu que a evolução estrutural e funcional dos NE teria subsidiado a emergência da sintaxe linguística a partir da sintaxe de ação, pois os programas neuromotores mediados por esses neurônios serviram como uma gramática pré-linguística que delineou a forma como as palavras são articuladas e arranjadas tanto pela via da fala quanto pela escrita.

A partir do capítulo dois até o quinto descrevemos, examinamos e refletimos sobre como os dados neurocientíficos são analisados e co-interpretados com o conhecimento teórico da linguística. Constatamos de modo geral que os experimentos em neurolinguística com ênfase no funcionamento dos NE sugerem algum grau de correlação entre essas células e o processamento de informações fonéticas, semânticas e sintáticas. Tendo em vista a importância de esclarecer o significado desses conceitos, assim como

conhecer a natureza da linguagem segundo a perspectiva dos linguistas escolhemos a teoria da linguagem de Chomsky para orientar a investigação conceitual e epistemológica.

Elaboramos uma síntese histórica sobre o início e o desenvolvimento dos estudos linguísticos para conhecer a dimensão e a complexidade do campo de conhecimento da linguagem. A concepção de que o pensamento e a linguagem são inseparáveis marcou as primeiras investigações linguísticas que foram carregadas com pressupostos filosóficos. O caráter criativo do uso da linguagem, juntamente com a capacidade de produzir um volume possivelmente infinito de sentenças a partir de um conjunto limitado de signos marca a diferença entre o sistema de comunicação dos animais e a linguagem humana. A noção de que a linguagem não se restringe ao pensamento, mas também serve como instrumento de comunicação social também foi observada e defendida por linguistas e psicólogos comportamentais que salientaram seu valor social.

A teoria da linguagem de Chomsky recapitulou e reelaborou trabalhos anteriores com base em observações e experimentos que fomentaram a formulação de novas hipóteses que continuam sendo desenvolvidas conforme o programa de pesquisa progride. Praticamente, Chomsky norteou seu programa em três pilares. Primeiro, como a FL é adquirida e desenvolvida por um falante. Essa questão retoma a discussão sobre o inatismo da linguagem e sua determinação genética segundo a premissa da pobreza de estímulo linguístico. Outro ponto de interesse é saber como o conhecimento linguístico é acessado por um falante, quer dizer como a representação interna da linguagem no nível mental é apreendida. Por fim, o programa de pesquisa objetiva investigar e conhecer o caráter funcional da sintaxe que combina e constrói frases ou sentenças a partir de uma quantidade finita de elementos linguísticos. Segundo Chomsky, o sistema sensorio-motor que representa a fonética e o componente intencional-conceitual que equivale a semântica são compartilhados por outras espécies de forma rudimentar, porém a sintaxe é um sistema exclusivamente humano.

Ao aproximarmos o campo de pesquisa das neurociências com os estudos da linguagem constatamos dois problemas apontados anteriormente na literatura por Poeppel (2012), os quais exemplificamos a partir dos NE e da teoria

chomskyana. O problema dos mapas mostrou que localizar não significa explicar. As tecnologias não invasivas em neurociências geram dados que formam imagens do cérebro que resultam em mapas neurobiológicos de sítios cerebrais e/ou regiões corticais que são ativadas durante um estímulo ou exercício linguístico realizado pelo participante ou paciente. A partir do raciocínio causal entre uma área e uma função as pesquisas em neurolinguística reproduzem uma forma de interpretar o resultado dos exames que remete aos primeiros trabalhos na área da neurobiologia da linguagem. A localização neuroanatômica de funções da linguagem apoiado por técnicas não invasivas representa na nossa perspectiva uma frenologia contemporânea, pois localizar não significa explicar. Além de reduzir sistemas complexos da cognição linguística em substratos neurobiológicos como os NE, os mapas basicamente respondem a perguntas sobre onde tal função ocorre, negligenciando assim a importância de saber como, quando e por que? O segundo problema exemplificado na tese ilustra como os conceitos das neurociências são vinculados aos da linguística. O problema do mapeamento conceitual entre diferentes campos do conhecimento aparece de forma explícita nas pesquisas em neurolinguística que assume proposições como: as bases neurobiológicas da sintaxe ou o substrato neural da fonética, assim como a hipótese de que os NE são responsáveis pelo processamento de informações semânticas. A aproximação de conceitos ontologicamente diferentes motiva interpretações reducionistas e causais que são características do pensamento linear entre uma causa e um efeito, ou melhor, entre uma área e uma função. Reconhecemos que ambos os problemas refletem uma crise do conhecimento, ou seja, uma disparidade entre a produção de dados neurocientíficos e a elaboração de teorias que interprete esses resultados. Compreendemos que esse desequilíbrio pode ser utilizado como energia criativa em favor do progresso das pesquisas no campo da neurociência da linguagem. Uma direção de investigação sugerida na tese é a abordagem computacional de sistemas complexos.

Ao assumirmos a linguagem como um sistema multidimensional foi necessário recorrer a uma metodologia de pesquisa pluralista. Sugerimos que a teoria computacional proposta por Marr pode ser um caminho de pesquisa, pois sua análise e explicação são separados em níveis que abrangem a natureza

psicofísica da linguagem. Além da localização neurobiológica de uma operação linguística é necessário conhecer a natureza funcional dessa(s) área(s) e sua contribuição para a representação da linguagem no vértice cognitivo. Compreendemos que existe a possibilidade de haver outros níveis além dos sugeridos por Marr. Além disso, defendemos que é necessário pesquisar, conhecer e traduzir os códigos neurais emitidos pelo comportamento funcional dos NE em rede e individualmente. Além do mais, asseguramos que a investigação empírica da linguagem no nível computacional, ou seja, no vértice mental é um desafio para os pesquisadores em neurolinguística. Também propomos que a abordagem metodológica da análise por síntese, além da inferência bayesiana podem ser estratégias de pesquisas favoráveis para investigar o nível algoritmo, quer dizer, a natureza funcional dos neurônios envolvidos com a codificação de sinais linguísticos. Por fim, reconhecemos que informações da linguagem chegam no cérebro pelas vias dos órgãos sensoriais, porém se espalham através de vias segregadas e paralelas que perpassam por diferentes áreas e regiões em ambos os hemisférios cerebrais. Por esse motivo, sugerimos que é necessário investigar e conhecer as sub-rotinas operacionais mediadas por cada área, circuito e unidade neural. Nesse sentido, os sistemas fonético, semântico e sintático precisam ser decompostos em unidades menores ou diferentes. Além disso, parece plausível decompor essas totalidades conceituais em representações elementares que podem ser investigadas e constatadas no âmbito neurobiológico. No entanto, é preciso exercitar o raciocínio crítico para avaliar e evitar um hiper reducionismo de totalidades conceituais em componentes estruturais e funcionais no nível neurobiológico.

Cabe mencionar que uma limitação do trabalho de pesquisa desenvolvido na tese foi restringir a análise estrutural e funcional dos NE a área de Broca. Tendo em vista que esse grupo de neurônios é normalmente pesquisado em relação a essa área, decidimos circunscrever nossa investigação a mesma. No entanto, sugerimos que a inclusão de outras áreas que contenham células com características funcionais de NE podem contribuir para a elaboração de um modelo de redes interconectadas que pode esclarecer a configuração estrutural e a natureza funcional dessas células neurais mediante o processamento de informações linguísticas.

Outra questão importante a ser pensada diz respeito ao emprego de termos como: representar, codificar, processar, computar, simular ou esquemas neurais sensório-motores. Compreendemos que a alternância vocabular entre os autores e seus trabalhos enriquece o campo semântico, porém pode representar uma falta de clareza sobre o que realmente significa dizer que os NE codificam, processam ou computam informações linguísticas. Nessa perspectiva, defendemos a importância de uma interpretação crítica sobre a elaboração de proposições que vinculam termos e conceitos que não são inteiramente esclarecidos, e que podem causar uma falsa impressão de que uma nova descoberta foi realizada.

Por fim, o conjunto de conhecimento pesquisado, descrito e examinado na tese exemplifica o trabalho intelectual multidisciplinar exigido para o desenvolvimento de investigações empíricas e teóricas no campo da neurociência da linguagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁶¹⁸

- Amunts, K., Lenzen, M., Friederici, A. D., Schleicher, A., Morosan, P., Palomero-Gallagher, N., & Zilles, K. (2010). Broca's region: novel organizational principles and multiple receptor mapping. *PLoS biology*, 8(9), e1000489.
- Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: A fundamental organizational principle of the brain. *Behavioral and brain sciences*, 33(4), 245-266.
- Andrade, A., Pinto, S. C., & Oliveira, R. S. D. (2006). *Animais de laboratório: criação e experimentação*. Editora Fiocruz.
- Angiolipoma, L. (2004). Estimulação magnética transcraniana. *Arq. Neuropsiquiatria*, 62(1), 185-186.
- Antony, L. M., & Hornstein, N. (Eds.). (2003). *Chomsky and his Critics*. Blackwell Publishing Ltda.
- Arbib, M. A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and brain sciences*, 28(2), 105-124.
- Arbib, M. A. (2012). *How the brain got language: The mirror system hypothesis* (Vol. 16). Oxford University Press.
- Areas, E. K. (2013). *Curso básico de linguística gerativa*. Editora Contexto.
- Arevalo, A. L., Baldo, J. V., & Dronkers, N. F. (2012). What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system?. *Cortex*, 48(2), 242-254.
- Arnould, A., & Lancelot, C. (1975). *General and Rational Grammar: The Port-Royal Grammar*, ed. and trans. Rieux and B. Rollin. The Hague: Mouton. Paris.

⁶¹⁸ De acordo com o estilo APA (American Psychological Association).

- Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current biology*, 16(18), 1818-1823.
- Bae, B. I., Tietjen, I., Atabay, K. D., Evrony, G. D., Johnson, M. B., Asare, E., ... & Walsh, C. A. (2014). Evolutionarily dynamic alternative splicing of GPR56 regulates regional cerebral cortical patterning. *Science*, 343(6172), 764-768.
- Ballard, D. H. (1991). Animate vision. *Artificial intelligence*, 48(1), 57-86.
- Barber, A. (2003). *Epistemology of language*. Oxford University Press.
- Barros-Loscertales, A., Gonzalez, J., Pulvermüller, F., Ventura-Campos, N., Bustamante, J. C., Costumero, V., ... & Ávila, C. (2012). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral cortex*, 22(11), 2554-2563.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660.
- Barsalou, L. W., & Wiemer-Hastings, K. (2005). Situating abstract concepts. *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language, and thought*, 129-163.
- Basso, A., Capitani, E., & Laiacona, M. (1988). Progressive language impairment without dementia: a case with isolated category specific semantic defect. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 51(9), 1201-1207.
- Baxter, D. M., & Warrington, E. K. (1985). Category specific phonological dysgraphia. *Neuropsychologia*, 23(5), 653-666.
- Behrmann, M., & Lieberthal, T. (1989). Category-specific treatment of a lexical-semantic deficit: A single case study of global aphasia. *British Journal of Disorders of Communication*, 24(3), 281-299.
- Bergen, B. (2015). The cognitive foundations of language. *Handbook of Cognitive li*.
- Berwick, R. C., & Chomsky, N. (2016). *Why only us: Language and evolution*. MIT press.

- Berwick, R. C., Friederici, A. D., Chomsky, N., & Bolhuis, J. J. (2013). Evolution, brain, and the nature of language. *Trends in cognitive sciences*, 17(2), 89-98.
- Berwick, R. C., Okanoya, K., Beckers, G. J., & Bolhuis, J. J. (2011). Songs to syntax: the linguistics of birdsong. *Trends in cognitive sciences*, 15(3), 113-121.
- Bever, T. G. (2001). Some Sentences on Our Consciousness of. Language, brain, and cognitive development: Essays in honor of Jacques Mehler, 143.
- Bever, T. G., & Poeppel, D. (2010). Analysis by synthesis: a (re-) emerging program of research for language and vision. *Biolinguistics*, 4(2-3), 174-200.
- Bíblia sagrada (1969). tradução de João Ferreira de Almeida. Edição revista e corrigida. Rio de Janeiro: Sociedade Bíblica do Brasil, [sd].
- Bonda, E., Petrides, M., Frey, S., & Evans, A. C. (1994). Frontal cortex involvement in organized sequences of hand movements: evidence from a positron emission tomography study. In *Soc Neurosci Abstr* (Vol. 20, No. 152.6).
- Bonini, L., & Ferrari, P. F. (2011). Evolution of mirror systems: a simple mechanism for complex cognitive functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1225(1), 166-175.
- Bornkessel, I., Zysset, S., Friederici, A. D., Von Cramon, D. Y., & Schlesewsky, M. (2005). Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *Neuroimage*, 26(1), 221-233.
- Bota, M., & Arbib, M. A. (2001). The neurohomology database. In *Computing the Brain* (pp. 337-351). Academic Press.
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2009). Grasping ideas with the motor system: semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral cortex*, 19(8), 1905-1914.
- Boulenger, V., Roy, A. C., Paulignan, Y., Deprez, V., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2006). Cross-talk between language processes and overt motor behavior

in the first 200 msec of processing. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(10), 1607-1615.

Brain Structures: Comparative Vertebrate Neuroanatomy. Evolution and Adaptation. Ann B. Butler and William Hodos. Wiley-Liss, New York, 1996. xviii, 514 pp., illus. \$74.95 or £60. ISBN 0-471-88889-3.

Breasted, J. H. (1930). *The Edwin Smith Surgical Papyrus: published in facsimile and hieroglyphic transliteration with translation and commentary in two volumes.*

Broca, P. (1861). *Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole).* *Bulletin et Memoires de la Societe anatomique de Paris*, 6, 330-357.

Broca, P. (1863). *Localisation des fonctions cérébrales: Siège de langage articulé.* *Bulletins de la Société d'Anthropologie de Paris*, 4, 200-208.

Brodmann, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues.* Barth.

Bruce, C.J., Goldberg, M.E., Bushnell, C. and Stanton, G.B. *Primate frontal eye fields. II. Physiological and anatomical correlates of electrically evoked movements.* *J. Neurophysiol.*, 1985, 54: 714–734.

Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). *Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study.* *The European journal of neuroscience*, 13(2), 400–404.

Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). *Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study.* *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355-363.

Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G. R., Zilles, K., Freund, H. J., & Rizzolatti, G. (2004). *Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study.* *Neuron*, 42(2), 323-334.

- Buckner, R. L., & Krienen, F. M. (2013). The evolution of distributed association networks in the human brain. *Trends in cognitive sciences*, 17(12), 648-665.
- Caetano, A. F. R., & Ferreira, F. R. M. (2018). Neurônios espelho: reflexos de uma reflexão. *Filosofia e História da Biologia*, 13(2), 147-168.
- Callou, Dinah & Leite, Yonne. (1990). *Iniciação à fonética e à fonologia*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 5 ed.
- Calvo, P., & Gomila, A. (Eds.). (2008). *Handbook of cognitive science: An embodied approach*. Elsevier.
- Câmara, J., M. *História da linguística*. Editora Vozes, 1975.
- Campbell AW: *Histological Studies on the Localization of Cerebral Function*. Cambridge, University Press, 1905.
- Cantalupo, C., & Hopkins, W. D. (2001). Asymmetric Broca's area in great apes. *Nature*, 414(6863), 505-505.
- Catani, M., & De Schotten, M. T. (2012). *Atlas of human brain connections*. Oxford University Press.
- Charles Darwin, 2004. *The descent of man*. Penguin Classics. ISBN: 0140436316,9780140436310.
- Cherry, S. R., & Dahlbom, M. (2004). PET: Physics, instrumentation, and scanners. In *PET* (pp. 1-124). Springer, New York, NY.
- Cherry, SR, Dahlbom, M. (2006). PET: Física, Instrumentação e Scanners. In: Phelps, ME (eds) *PET*. Springer, Nova York, NY. https://doi.org/10.1007/0-387-34946-4_1.
- Chiel, H. J., & Beer, R. D. (1997). The brain has a body: adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment. *Trends in neurosciences*, 20(12), 553-557.
- Chomsky, A. N. (1955). *Transformational analysis*. University of Pennsylvania. Tese de doutorado.
- Chomsky, N. (1955). *The Logical Structure of Linguistic Theory*. Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: <http://alpha->

leonis.lids.mit.edu/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/chomsky_LSLT55.pdf. Acesso em 12 nov. 2022.

- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures* (Mouton de Gruyter, Berlin).
- Chomsky, N. (1981). Knowledge of language: Its elements and origins. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 295(1077), 223-234.
- Chomsky, N. (1984). *Modular Approaches to the Study of the Mind* (Vol. 1). San Diego State Univ.
- Chomsky, N. (1998). *Linguagem e mente: pensamentos atuais sobre antigos problemas*. Editora Universidade de Brasília.
- Chomsky, N. (2000a). *The architecture of language*. Edited by Nirmalangshu Mukherji; Bibudhendra Narayan Patnaik; Rama Kant Agnihotri. Oxford University Press.
- Chomsky, N. (2000b). *New horizons in the study of language and mind*. Cambridge University Press.
- Chomsky, N. (2000c). Linguistics and brain science. In A. Marantz, Y. Miyashita, & W. O'Neil (Eds.), *Image, language, brain: Papers from the first mind articulation project symposium* (pp. 13–28). The MIT Press.
- Chomsky, N. (2005). Three factors in language design. *Linguistic inquiry*, 36(1), 1-22.
- Chomsky, N. (2006). *Language and mind*. Cambridge University Press.
- Chomsky, N. (2009). *Cartesian linguistics: A chapter in the history of rationalist thought*. Cambridge University Press.
- Chomsky, N. (2009). *Syntactic structures*. Second edition with an introduction by David W. Lightfoot. De Gruyter Mouton, Berlin.
- Chomsky, N. (2010). Some simple evolutionary theses: how true might they be for language?. In *The evolution of human language: Bilingual perspectives* (pp. 45-62). Cambridge University Press.

- Chomsky, N. (2017). Language architecture and its import for evolution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 81, 295-300.
- Clancey, W. J. (1997). *Situated cognition: On human knowledge and computer representations*. Cambridge university press.
- Curtiss, Susan. *Genie: A Psycholinguistic Study of a Modern-Day "Wild Child"*. London: Academic Press Inc. ed. 1977.
- Damasio, A. (1994). *Descartes` Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York: Avon Books.
- Damasio, A. R. (1989). The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. *Neural computation*, 1(1), 123-132.
- Damasio, A. R. (1992). Aphasia. *New England Journal of Medicine*, 326(8), 531-539. Elliot Smith G: A new topographical survey of the human cerebral cortex, being an account of the distribution of the anatomically distinct cortical areas and their relationship to the cerebral sulci. *J Anat Physiol (Lond)* 1907; 41: 237–254.
- Damasio, A. R., & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(11), 4957-4960.
- Dawkins, R. (1976). Hierarchical organisation: A candidate principle for ethology. In *Growing Points in Ethology*, P. Bateson and R.A. Hinde, eds. Cambridge University Press, pp. 7-54.
- De Friederici, A. D. (2017). *Language in our brain: The origins of a uniquely human capacity*. MIT Press.
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural brain research*, 34(1-2), 35-42.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural brain research*, 42(1), 1-5.

- Decety, J., Sjo, H., Ryding, E., Stenberg, G., & Ingvar, D. H. (1990). The cerebellum participates in mental activity: tomographic measurements of regional cerebral blood flow. *Brain research*, 535(2), 313-317.
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>.
- di Sciullo, A. M., Piattelli-Palmarini, M., Wexler, K., Berwick, R. C., Boeckx, C., Jenkins, L., ... & Bever, T. G. (2010). The biological nature of human language. *Biolinguistics*, 4(1), 4-34.
- Douglas, P. H., & Moscovice, L. R. (2015). Pointing and pantomime in wild apes? Female bonobos use referential and iconic gestures to request genito-genital rubbing. *Scientific Reports*, 5(1), 1-9.
- Duffy, R. J., Duffy, J. R., & Pearson, K. L. (1975). Pantomime recognition in aphasics. *Journal of Speech and Hearing Research*, 18(1), 115-132.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of neurophysiology*, 73(6), 2608–2611. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.6.2608>.
- Faisal, A., Stout, D., Apel, J., & Bradley, B. (2010). The manipulative complexity of Lower Paleolithic stone toolmaking. *PloS one*, 5(11), e13718.
- Fazio, P., Cantagallo, A., Craighero, L., D'ausilio, A., Roy, A. C., Pozzo, T., ... & Fadiga, L. (2009). Encoding of human action in Broca's area. *Brain*, 132(7), 1980-1988.
- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European journal of neuroscience*, 17(8), 1703-1714.
- Ferrari, P. F., Visalberghi, E., Paukner, A., Fogassi, L., Ruggiero, A., & Suomi, S. J. (2006). Neonatal imitation in rhesus macaques. *PLoS biology*, 4(9), e302.
- Fiorin, J. L. (2003). *Introdução à linguística*.

- Fisher, S. E., & Vernes, S. C. (2015). Genetics and the language sciences. *Annual Review of Linguistics*, 1, 289-310.
- Fisher, S. E., Lai, C. S., & Monaco, A. P. (2003). Deciphering the genetic basis of speech and language disorders. *Annual review of neuroscience*, 26(1), 57-80.
- Fitch, W. T. (2011). The evolution of syntax: an exaptationist perspective. *Frontiers in evolutionary neuroscience*, 3, 9.
- Fodor, J. A. (1980). Methodological solipsism considered as a research strategy in cognitive psychology. *Behavioral and brain sciences*, 3(1), 63-73.
- Foerster, O. Motorische felder und bahnen. Sensible corticale felder. In: O. Bumke and O. Foerster (Eds.), *Handbuck der Neurologie*, Vol. 6. Springer, Berlin, 1936, pp. 1–357.
- Fox, P. T., Pardo, J. V., Petersen, S. E., & Raichle, M. E. (1987). Supplementary motor and premotor responses to actual and imagined hand movements with positron emission tomography. In *Society for Neuroscience Abstracts* (Vol. 13, p. 1433).
- Freund, H. J. (1991). What is the evidence for multiple motor areas in the human brain. *Motor Control: Concepts and Issues*. Wiley, Chichester, UK, 399-411.
- Friederici, A. D. (2017). *Language in our brain: The origins of a uniquely human capacity*. MIT Press.
- Friederici, A. D., Chomsky, N., Berwick, R. C., Moro, A., & Bolhuis, J. J. (2017). Language, mind and brain. *Nature human behaviour*, 1(10), 713-722.
- Friederici, A. D., Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., Bornkessel, I. D., & Von Cramon, D. Y. (2006). Processing linguistic complexity and grammaticality in the left frontal cortex. *Cerebral Cortex*, 16(12), 1709-1717.
- Fulton, J. F. (1935). A note on the definition of the “motor” and “premotor” areas. *Brain*, 58(2), 311-316.

- Gage, N. Y., & Hickok, G. (2005). Multiregional cell assemblies, temporal binding and the representation of conceptual knowledge in cortex: a modern theory by a "classical" neurologist, Carl Wernicke. *Cortex*, 41(6), 823-832.
- Gainotti, G., Silveri, M. C., Daniel, A., & Giustolisi, L. (1995). Neuroanatomical correlates of category-specific semantic disorders: A critical survey. *Memory*, 3(3-4), 247-263.
- Galati, G., Committeri, G., Spitoni, G., Aprile, T., Di Russo, F., Pitzalis, S., & Pizzamiglio, L. (2008). A selective representation of the meaning of actions in the auditory mirror system. *Neuroimage*, 40(3), 1274-1286.
- Gall, Joseph François. On the functions of the brain and of each of its parts: with observations on the possibility of determining the instincts, propensities, and talents, or the moral and intellectual dispositions of men and animals, by the configuration of the brain and head. Translated from the french by Winslow Lewis, Jr. Volume 1. Boston: Marsh, Capen & Lyon, 1835.
- Gallese, V. (2003). The manifold nature of interpersonal relations: the quest for a common mechanism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431), 517-528.
- Gallese, V. (2003b). The roots of empathy: the shared manifold hypothesis and the neural basis of intersubjectivity. *Psychopathology*, 36(4), 171-180.
- Gallese, V. (2005). Embodied simulation: From neurons to phenomenal experience. *Phenomenology and the cognitive sciences*, 4(1), 23-48.
- Gallese, V. 2000a The acting subject: towards the neural basis of social cognition. In *neural correlates of consciousness. Empirical and conceptual questions* (ed. T. Metzinger), pp. 325–333. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2003). The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Structure. Paper submitted to *Cognitive Neuropsychology*.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.

- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. 1996 Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, 593–609.
- Gallese, V., Ferrari, P. F., Kohler, E. & Fogassi, L. 2002a The eyes, the hand, and the mind: behavioral and neurophysiological aspects of social cognition. In *The cognitive animal* (ed. M. Bekoff, C. Allen & G. Burghardt), pp. 451–461. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L. & Rizzolatti, G. 2002b Action representation and the inferior parietal lobule. In *Attention and performance*, vol. XIX (ed. W. Prinz & B. Hommel), pp. 247–266. Oxford University Press.
- Gazzaniga, M. S. (Ed.). (1997). *Conversations in the cognitive neurosciences*. MIT Press.
- Gentilucci, M., Fogassi, L., Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R., & Rizzolatti, G. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental brain research*, 71(3), 475-490.
- Gentilucci, M., Scandolara, C., Pigarev, I. N., & Rizzolatti, G. (1983). Visual responses in the postarcuate cortex (area 6) of the monkey that are independent of eye position. *Experimental Brain Research*, 50(2), 464-468.
- Geschwind N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. I. *Brain: a journal of neurology*, 88(2), 237–294. <https://doi.org/10.1093/brain/88.2.237>.
- Geyer, S., Ledberg, A., Schleicher, A., Kinomura, S., Schormann, T., Bürgel, U., ... & Roland, P. E. (1996). Two different areas within the primary motor cortex of man. *Nature*, 382(6594), 805-807.
- Glenberg AM and Robertson DA. Indexical understanding of instructions. *Discourse Processes*, 28: 1e26, 1999.
- Glenberg, A. M., & Gallese, V. (2012). Action-based language: A theory of language acquisition, comprehension, and production. *cortex*, 48(7), 905-922.
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 558-565.

- Goldenberg, G. (2003). Apraxia and beyond: life and work of Hugo Liepmann. *Cortex*, 39(3), 509-524.
- Goldenberg, J. (2013). *Reumatologia Geriátrica*. São Paulo, ed. 1. Editora Atheneu.
- Goodman, D., & Kelso, J. S. (1980). Are movements prepared in parts? Not under compatible (naturalized) conditions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(4), 475.
- Gough, P. M., Nobre, A. C., & Devlin, J. T. (2005). Dissociating linguistic processes in the left inferior frontal cortex with transcranial magnetic stimulation. *Journal of Neuroscience*, 25(35), 8010-8016.
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15.
- Gowlett, J. A. (1984). Mental abilities of early man: a look at some hard evidence. *Higher Education Quarterly*, 38(3), 199-220.
- Greenfield, P. M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and brain sciences*, 14(4), 531-551.
- Grèzes, J., Armony, J. L., Rowe, J., & Passingham, R. E. (2003). Activations related to “mirror” and “canonical” neurones in the human brain: an fMRI study. *Neuroimage*, 18(4), 928-937. Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.
- Grodzinsky, Y. (1990). *Theoretical perspectives on language deficits*. MIT press.
- Grodzinsky, Y., & Finkel, L. (1998). The neurology of empty categories: Aphasics' failure to detect ungrammaticality. *Journal of cognitive neuroscience*, 10(2), 281-292.
- Gronau, I., Hubisz, M. J., Gulko, B., Danko, C. G., & Siepel, A. (2011). Bayesian inference of ancient human demography from individual genome sequences. *Nature genetics*, 43(10), 1031-1034.

- Hackett, T. A., Preuss, T. M., & Kaas, J. H. (2001). Architectonic identification of the core region in auditory cortex of macaques, chimpanzees, and humans. *Journal of Comparative Neurology*, 441(3), 197-222.
- Halle, Morris & Kenneth Stevens. 1963. Speech recognition: A model and a program for research. *IRE Transactions on Information Theory* 8, 155–159. [Reprinted in Halle, Morris. 2002. *From Memory to Speech and Back*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Harlow, John, Martyn. Recovery from the passage of an iron bar through the head. Massachusetts Medical Society. Boston: David Clapp & Son..... 334 Washington Street. Medical and Surgical Journal Office, 1869.
- Harris, J. J., & Attwell, D. (2012). The energetics of CNS white matter. *Journal of Neuroscience*, 32(1), 356-371.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human brain mapping*, 21(3), 191-201.
- Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve?. *Science*, 298(5598), 1569-1579.
- Hawkins, R. D., & Kandel, E. R. (1984). Is there a cell-biological alphabet for simple forms of learning?. *Psychological review*, 91(3), 375.
- He, S. Q., Dum, R. P., & Strick, P. L. (1993). Topographic organization of corticospinal projections from the frontal lobe: motor areas on the lateral surface of the hemisphere. *Journal of Neuroscience*, 13(3), 952-980.
- He, S. Q., Dum, R. P., & Strick, P. L. (1995). Topographic organization of corticospinal projections from the frontal lobe: motor areas on the medial surface of the hemisphere. *Journal of Neuroscience*, 15(5), 3284-3306.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior* Wiley. New York.
- Hecht, E. E., Murphy, L. E., Gutman, D. A., Votaw, J. R., Schuster, D. M., Preuss, T. M., Orban, G. A., Stout, D., & Parr, L. A. (2013). Differences in neural activation for object-directed grasping in chimpanzees and humans. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(35), 14117–14134. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2172-13.2013>.

- Heidegger, M. (1962). *Being and Time*. New York: Harper & Row.
- Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), 242-247.
- Hickok, G. (2010). The role of mirror neurons in speech perception and action word semantics. *Language and cognitive processes*, 25(6), 749-776.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 67-99.
- Hillis, A. E., Rapp, B., Romani, C., & Caramazza, A. (1990). Selective impairment of semantics in lexical processing. *Cognitive neuropsychology*, 7(3), 191-243.
- Hinzen, W., & Poeppel, D. (2011). Semantics between cognitive neuroscience and linguistic theory: Guest editors' introduction. *Language and cognitive processes*, 26(9), 1297-1316.
- Holloway Jr, R. L. (1969). Culture: a human domain. *Current Anthropology*, 10(4, Part 2), 395-412.
- Holloway, R. L. (1981). Culture, symbols, and human brain evolution: a synthesis. *Dialectical anthropology*, 5(4), 287-303.
- Horn, L. R. (1989). *A natural history of negation*.
- Horoufchin, H., Bzdok, D., Buccino, G., Borghi, A. M., & Binkofski, F. (2018). Action and object words are differentially anchored in the sensory motor system-A perspective on cognitive embodiment. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.
- Humphrey, D. R., & Freund, H. J. (1991). *Motor control: concepts and issues*.
- Hurley, S. L. (1998). *Consciousness in action*. Harvard University Press.
- Imre Lakatos. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In *Criticism and the Growth of Knowledge*. Imre Lakatos and Alan Musgrave, Eds. (1970). Reprinted by permission of Cambridge University Press.

- Jardril, R.; Pins, D.; Bubrivszky, M.; Desprez, P.; Pruvo, J.; P.; Steiling, M.; Thomas, P. Self awareness and speech processing: an fMRI study. *Neuroimage*, v. 35, n. 4, p. 1645-1653, 2007.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain sciences*, 17(2), 187-202.
- Jeannerod, M. (1997). *The cognitive neuroscience of action*. Blackwell Publishing.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self* (Vol. 42). OUP Oxford.
- Jeannerod, M., Arbib, M. A., Rizzolatti, G., & Sakata, H. (1995). Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in neurosciences*, 18(7), 314-320.
- Joaquim Mattoso Camara Jr. (1986). *História da Linguística*. Petrópolis, Editora Vozes, 4ª ed.
- Kamp, M. A., Tahsim-Oglou, Y., Steiger, H. J., & Hänggi, D. (2012). Traumatic brain injuries in the ancient Egypt: insights from the Edwin Smith Papyrus. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, 73(04), 230-237.
- Kana, R. K., Blum, E. R., Ladden, S. L., & Ver Hoef, L. W. (2012). "How to do things with Words": Role of motor cortex in semantic representation of action words. *Neuropsychologia*, 50(14), 3403-3409.
- Kandel, E. R., (et. al.). Trad. Rodrigues, A.L.S.; (et. al.). Rev.Téc. Dalmaz, C. (2014), Quillfeldt, A. *Principios De Neurociências*, 5 Ed. – Porto Alegre: Amgh, Artmed. 2014.

- Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive brain research*, 13(1), 27-39.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846-848.
- Kohler, E., Umiltà, M. A., Keysers, C., Gallese, V., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. 2001 Auditory mirror neurons in the ventral premotor cortex of the monkey. *Soc. Neurosci. Abstr.* 27, 129.9.
- Koski, L., Wohlschläger, A., Bekkering, H., Woods, R. P., Dubeau, M. C., Mazziotta, J. C., & Iacoboni, M. (2002). Modulation of motor and premotor activity during imitation of target-directed actions. *Cerebral cortex*, 12(8), 847-855.
- Koskinas, G. N. (1931). *Scientific works published in German*. Pyrsus, Athens.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: Univ. Press, Chicago/IL.
- Langacker, R. W. (1987). *Foundations of cognitive grammar: Theoretical prerequisites* (Vol. 1). Stanford university press.
- Langacker, R. W. (1991). *Foundations of Cognitive Grammar. Descriptive Application*. Stanford: Stanford University Press. Vol. II.
- Language. Vol. 35, no. 1, 1959. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/411334>.
Accessado em: 10 nov. 2022.
- Le Goff, J. *A história deve ser dividida em pedaços*. São Paulo: Editora UNESP, 2015.
- Leinonen, L., & Nyman, G. (1979). II. Functional properties of cells in anterolateral part of area 7 associative face area of awake monkeys. *Experimental Brain Research*, 34(2), 321-333.

- Lenneberg, E. H. (1962). Understanding language without ability to speak: a case report. *The Journal of abnormal and Social Psychology*, 65(6), 419.
- Lenneberg, E., H. Biological Foundations of Language. John Wiley & Sons, Inc. 1967.
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole. Technique et langage*. Éditions Albin Michel, Paris.
- Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21(1), 1-36.
- Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological review*, 74(6), 431.
- Liberman, A.M., Mattingly, I.G., & Turvey, M. (1972). Language codes and memory codes. In A.W. Melton and E. Martin (Eds.), *Coding Processes and Human Memory*. Washington, DC: Winston.
- Lieberman, P. (1984). *The biology and evolution of language*. Harvard University Press.
- Lieberman, P., & Blumstein, S. E. (1988). *Speech physiology, speech perception, and acoustic phonetics*. Cambridge University Press.
- Liepmann H. Das Krankheitsbild der Apraxie ('motorischen Asymbolie') auf Grund eines Falles von einseitiger Apraxie. (The syndrome of apraxia (motor asymbolia) based on a case of unilateral apraxia). Translated by Bohne WHO, Liepmann K, Rottenberg DA. from *Monatsschrift für Psychiatrie und Neurologie*, 1900, vol 8:15–44. In: Rottenberg DA, Hochberg FH. (eds). *Neurological classics in modern translation*. New York: Hafner Press, 1977.
- Liepmann H. Über die agnostischen Störungen. *Neurol. Centralbl.*, 27: 609-617, 664-675, 1908.
- Liepmann, H., Das Krankheitsbild der Apraxie (motorische Asymbolie) auf Grund eines Falles von einseitiger Apraxie. *Monatsschrift für Psychiatrie und Neurologie*, 8, p. 19, 1900, Karger.

- Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R., & Rizzolatti, G. (1994). Corticospinal projections from mesial frontal and cingulate areas in the monkey. *Neuroreport*, 5(18), 2545-2548.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior (Vol. 21, p. 21). Oxford: Bobbs-Merrill.
- MacNeilage, P. F. (1998). The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and brain sciences*, 21(4), 499-511.
- Maffongelli, L., D'Ausilio, A., Fadiga, L., & Daum, M. M. (2019). The ontogenesis of action syntax. *Collabra: Psychology*, 5(1).
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of physiology-Paris*, 102(1-3), 59-70.
- Makuuchi, M., Bahlmann, J., Anwender, A., & Friederici, A. D. (2009). Segregating the core computational faculty of human language from working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(20), 8362-8367.
- Malafouris, L. (2004). The cognitive basis of material engagement: where brain, body and culture conflate. In *Rethinking materiality: The engagement of mind with the material world* (pp. 53-61). Cambridge: McDonald Institute Monographs.
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current biology*, 19(23), 1994-1997.
- Marghetis, T., & Bergen, B. K. (2014). 158. Embodied meaning, inside and out: The coupling of gesture and mental simulation. In *Volume 2* (pp. 2000-2007). De Gruyter Mouton.
- Marie, P. (1906). La troisieme circonvolution frontale gauche ne joue aucun role special dans la fonction de langage. *La semaine médicale*, 26, 241-247.
- Marler, P. (1970). A comparative approach to vocal learning: song development in white-crowned sparrows. *Journal of comparative and physiological psychology*, 71(2p2), 1.

- Marr, D. (2010). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. MIT press. ISBN: 0262514621,9780262514620.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). From understanding computation to understanding neural circuitry.
- Matelli, M., & Luppino, G. (1997). Functional anatomy of human motor cortical areas. *Handbook of neuropsychology*, 11, 9-26.
- Matelli, M., Luppino, G., & Rizzolatti, G. (1985). Patterns of cytochrome oxidase activity in the frontal agranular cortex of the macaque monkey. *Behavioural brain research*, 18(2), 125-136.
- Matelli, M., Luppino, G., & Rizzolatti, G. (1991). Architecture of superior and mesial area 6 and the adjacent cingulate cortex in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 311(4), 445-462.
- Mattingly, G. R., & Liberman, A. M. (1991). *Modularity and the motor theory of speech perception: Proceedings of a conference to honor Alvin M. Liberman*. Psychology Press.
- Mattingly, I.G. & Liberman, A.M. (1969). The speech code and the physiology of language. In K.N. Leibovic (Ed.), *Information Processing in the Nervous System*. New York: Springer-Verlag.
- Mazzola, A. A. (2009). Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. *Revista Brasileira de Física Médica*, 3(1), 117-129.
- McGee, A. W., Yang, Y., Fischer, Q. S., Daw, N. W., & Strittmatter, S. M. (2005). Experience-driven plasticity of visual cortex limited by myelin and Nogo receptor. *Science*, 309(5744), 2222-2226.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198(4312), 75-78.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris, Gallimard.
- Merleau-Ponty, M. (1962). *Phenomenology of perception (Vol. 22)*. London.

- Meynert T: Der Bau der Gross-Hirnrinde und seine örtlichen Verschiedenheiten, nebst einem pathologisch-anatomischen Corollarium. Neuwied, JH Heuser'sche Ver-lagsbuchhandlung, 1872, pp 1–68.
- Miazaki, M. (2012). Estudo da forma, função e expressão gênica em neurociência (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Moro, A. (2016). Impossible languages. MIT press.
- Moss, H. E., Abdallah, S., Fletcher, P., Bright, P., Pilgrim, L., Acres, K., & Tyler, L. K. (2005). Selecting among competing alternatives: selection and retrieval in the left inferior frontal gyrus. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1723-1735.
- Müller, V.; T.; Santos, P.; P.; D., Carnaval, T.; Gomes, M.; D.; M.; Fregni, F. O que é estimulação magnética transcraniana. *Rev Bras Neurol*, v. 49, n. 1, p. 20-31, 2013.
- Nef, F., Magalhães, L., & Nef, F. (1995). A linguagem: uma abordagem filosófica. Zahar.
- Neural correlates of conceptual knowledge for actions. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 409-432.
- Neville, H. J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., ... & Turner, R. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: biological constraints and effects of experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 922-929.
- Ng, W. P., Cartel, N., Roder, J., Roach, A., & Lozano, A. (1996). Human central nervous system myelin inhibits neurite outgrowth. *Brain research*, 720(1-2), 17-24.
- Nieuwenhuys, R., ten Donkelaar, H. J., & Nicholson, C. (1998). *The Central Nervous System of Vertebrates: With Posters (Vol. 1)*. Springer Science & Business Media.
- Nishitani, N., Schurmann, M., Amunts, K., & Hari, R. (2005). Broca's region: from action to language. *Physiology*, 20(1), 60-69.

- Nobrega, Vitor Augusto. *Abordagem Isomórfica: a articulação entre o léxico e a sintaxe na emergência da linguagem*. 2018. Tese (Doutorado em Semiótica e Lingüística Geral) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. doi:10.11606/T.8.2019.tde-13022019-162354. Acesso em: 2022-09-12.
- Ohta, S., Fukui, N., & Sakai, K. L. (2013). Syntactic computation in the human brain: the degree of merger as a key factor. *PLoS One*, 8(2), e56230.
- Ono, M., Kubik, S. and Abernathey, C.D. *Atlas of the Cerebral Sulci*. Thieme, Stuttgart, 1990, 218 pp. Pandya, D. N., & Seltzer, B. (1982). Intrinsic connections and architectonics of posterior parietal cortex in the rhesus monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 204(2), 196-210.
- Pagani, Luca, Stephan Schiffels, Deepti Gurdasani, Petr Danecek, Aylwyn Scally, Yuan Chen, Yali Xue, 2015. Tracing the route of modern humans out of Africa using 225 human genome sequences from Ethiopians and Egyptians. *American Journal of Human Genetics* 96: 1 – 6.
- Parsons, L. M., Fox, P. T., Downs, J. H., Glass, T., Hirsch, T. B., Martin, C. C., & Lancaster, J. L. (1995). Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*, 375(6526), 54-58.
- Paus, T. (1996). Location and function of the human frontal eye-field: a selective review. *Neuropsychologia*, 34(6), 475-483.
- Penny, W. (2015). Bayesian models in neuroscience.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.56035-8>.
- Petrides, M. (1985). Deficits in non-spatial conditional associative learning after periarculate lesions in the monkey. *Behavioural brain research*, 16(2-3), 95-101.
- Petrides, M. and Pandya, D.N. Comparative architectonic analysis of the human and the macaque frontal cortex. In: F. Boller and J. Grafman (Eds.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 9. Elsevier, Amsterdam, 1994, pp. 17–58.

- Piattelli-Palmarini, M., & Vitiello, G. (2017). Third factors in language design: Some suggestions from Quantum Field Theory. *The Cambridge companion to chomsky*, 2, 134-152.
- Pievani, T., & Serrelli, E. (2011). Exaptation in human evolution: how to test adaptive vs exaptive evolutionary hypotheses. *Journal of Anthropological Sciences*, 89, 9-23.
- Platon - oeuvres complètes - Tome V - 2 partie - Cratyle - Texte établi et traduit par Louis Méridier. Paris, Société d'édition - Les Belles Lettres - 95, Boulevard Raspail, 1931.
- Poeppel, D. (1996). Neurobiology and linguistics are not yet unifiable. *Behavioral and Brain Sciences*, 19(4), 642-643.
- Poeppel, D. (2008). Cognitive Neuroscience of Language—An Unabashedly Parochial Primer. In <http://www.lcs.pomona.edu/HewlettCognitiveScience/index.html>. Pomona College.
- Poeppel, D. (2011). Genetics and language: a neurobiological perspective on the missing link (-ing hypotheses). *Journal of neurodevelopmental disorders*, 3(4), 381-387.
- Poeppel, D. (2012). The maps problem and the mapping problem: two challenges for a cognitive neuroscience of speech and language. *Cognitive neuropsychology*, 29(1-2), 34-55.
- Poeppel, D. (2017). The cartographic imperative: confusing localization and explanation in human brain mapping. In *BAND 6, 1 Ikonografie des Gehirns* (pp. 19-29). De Gruyter (A).
- Poeppel, D. (2017). The influence of Chomsky on the neuroscience of language. *The Cambridge Companion to Chomsky*, 155-172.
- Poeppel, D., & Hickok, G. (2004). Towards a new functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 1-12.
- Poeppel, D., Idsardi, W. J., & Van Wassenhove, V. (2008). Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1493), 1071-1086.

- Poeppel, D., Wharton, C., Fritz, J., Guillemin, A., San Jose, L., Thompson, J., ... & Braun, A. (2004). FM sweeps, syllables, and word stimuli differentially modulate left and right non-primary auditory areas. *Neuropsychologia*, 42(2), 183-200.
- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., ... & Di Prampero, P. E. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 16(23), 7688-7698.
- Prather, J. F., Peters, S., Nowicki, S., & Mooney, R. (2008). Precise auditory-vocal mirroring in neurons for learned vocal communication. *Nature*, 451(7176), 305–310. <https://doi.org/10.1038/nature06492>.
- Preuss, T. M., Stepniewska, I., & Kaas, J. H. (1996). Movement representation in the dorsal and ventral premotor areas of owl monkeys: a microstimulation study. *Journal of Comparative Neurology*, 371(4), 649-676.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and brain sciences*, 22(2), 253-279.
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature reviews neuroscience*, 6(7), 576-582.
- Pulvermüller, F. (2010). Brain embodiment of syntax and grammar: Discrete combinatorial mechanisms spelt out in neuronal circuits. *Brain and language*, 112(3), 167-179.
- Pulvermüller, F. (2013). How neurons make meaning: brain mechanisms for embodied and abstract-symbolic semantics. *Trends in cognitive sciences*, 17(9), 458-470.
- Pulvermüller, F. (2014). The syntax of action. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 219-220.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature reviews neuroscience*, 11(5), 351-360.

- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *The European journal of neuroscience*, 21(3), 793–797. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.03900.x>
- Pulvermüller, F., Kherif, F., Hauk, O., Mohr, B., & Nimmo-Smith, I. (2009). Distributed cell assemblies for general lexical and category-specific semantic processing as revealed by fMRI cluster analysis. *Human brain mapping*, 30(12), 3837-3850.
- Regier, T. (1996). *The human semantic potential: Spatial language and constrained connectionism*. MIT Press.
- Reiner, A. (1991). Levels of organization and the evolution of isocortex. *Trends Neurosci.* 19(3), 89-91.
- Renfrew, C. (2004). Towards a theory of material engagement. *Rethinking materiality: The engagement of mind with the material world*, 23-31.
- Renfrew, C., Frith, C., & Malafouris, L. (2008). Introduction. *The sapient mind: archaeology meets neuroscience*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1499), 1935-1938.
- Restle, J.; Murakami, T.; Ziemann, U. Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal gyrus. *Neuropsychologia*, v. 50, n. 8, p. 2026-2031, 2012.
- Review of B. F. Skinner, *Verbal Behavior*,” *Language*, vol. 35, 1959, pp. 26-58. Repr. with added preface in L. Jakobovits and M. Miron (eds.), *Readings in the Psychology of Language*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. J. A. R. N. (2004). The mirror-neuron system.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature reviews neuroscience*, 11(4), 264-274.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. & Fogassi, L. 1996a Pre-motor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn. Brain Res.* 3, 131–141.

- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in neurosciences*, 21(5), 188-194.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141.
- Rizzolatti, G., Luppino, G., & Matelli, M. (1998). The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 106(4), 283-296.
- Rogalsky, C.; Love, T.; Driscoll, D.; Anderson, S.; W.; Hickock, G. Are mirror neurons the basis of speech perception? Evidence from five cases with damage to the purported human mirror system. *Neurocase*, v. 17, n. 2, p. 178-187, 2011.
- Roland, P. E., Larsen, B., Lassen, N. A., & Skinhoj, E. (1980). Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. *Journal of neurophysiology*, 43(1), 118-136.
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C., ... & Jeannerod, M. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*, 7(7), 1280-1284.
- Sacchett, C., & Humphreys, G. W. (1992). Calling a squirrel a squirrel but a canoe a wigwam: A category-specific deficit for artefactual objects and body parts. *Cognitive Neuropsychology*, 9(1), 73-86.
- Saussure, Ferdinand. *Cours de linguistique générale*, Publié par BAILLY (Charles) et SÉCHEHAYE (Albert) avec la collaboration de RIEDLINGER (Albert), Edition critique de MAURO (Tullio de), notes traduites de l'italien par CALVET (Jean-Louis), Paris, éd. Payot, 1967.
- Schafer, R. M. (1997). *A afinação do mundo: uma exploração pioneira pela história passada e pelo atual estado do mais negligenciado aspecto do nosso ambiente: a paisagem sonora*. Unesp.
- Schiffer, M. B. (2002). *The material life of human beings: artifacts, behavior and communication*. Routledge.

- Schnitzler, A., Salenius, S., Salmelin, R., Jousmäki, V., & Hari, R. (1997). Involvement of primary motor cortex in motor imagery: a neuromagnetic study. *Neuroimage*, 6(3), 201-208.
- Schumann, J. H. (1990). The role of the amygdala as a mediator of affect and cognition in second language acquisition. *Proceeding of the Georgetown University Round Table on Language and Linguistics*, 169-176.
- Schumann, J. H. (1997). The Neurobiology of Affect in Language. A Supplement to. *Language Learning, A Journal of Research in Language Studies*, 48.
- Seltzer, B., & Pandya, D. N. (1989). Frontal lobe connections of the superior temporal sulcus in the rhesus monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 281(1), 97-113.
- Semaw, S. (2000). The world's oldest stone artefacts from Gona, Ethiopia: their implications for understanding stone technology and patterns of human evolution between 2.6–1.5 million years ago. *Journal of Archaeological Science*, 27(12), 1197-1214.
- Seung, S. (2012). *Connectome: How the brain's wiring makes us who we are*. HMH.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge University Press.
- Shannon, C. E. (1948). *A mathematical theory of communication*. The Bell system.
- Silva, G. D., Parmera, J. B., & Haddad, M. S. (2021). Acute chorea: case series from the emergency room of a Brazilian tertiary-level center. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 79, 233-237.
- Singh, J. A. L., & ZINGG, R. (1942). *Wolf-Children and Feral Man*, New York: Harper and Bros., 1942.
- Singsank, K. (2015). *EEG Investigation of Mirror-Neuron Activity Before and After Conscious Perception of Emotion in Faces*.

- Sininger, Y. S., & Cone-Wesson, B. (2004). Asymmetric cochlear processing mimics hemispheric specialization. *Science*, 305(5690), 1581-1581.
- Skarda, C. A., & Freeman, W. J. (1987). How brains make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and brain sciences*, 10(2), 161-173.
- Skeide, M. A., & Friederici, A. D. (2016). The ontogeny of the cortical language network. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(5), 323-332.
- Skipper, J. I., Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2007). Speech-associated gestures, Broca's area, and the human mirror system. *Brain and language*, 101(3), 260-277.
- Souza, L. F. D. (2010). *Platão. Crátilo. Estudo e tradução* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Staal, J. A., & Vickers, J. C. (2011). Selective vulnerability of non-myelinated axons to stretch injury in an in vitro co-culture system. *Journal of neurotrauma*, 28(5), 841-847.
- Steele, J., & Uomini, N. (2009). Can the archaeology of manual specialization tell us anything about language evolution? A survey of the state of play. *Cambridge Archaeological Journal*, 19(1), 97-110.
- Steele, J., Ferrari, P. F., & Fogassi, L. (2012). From action to language: comparative perspectives on primate tool use, gesture and the evolution of human language. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1585), 4-9.
- Steinthal, H. (1871). *Abriss der Sprachwissenschaft*. Berlin: Ferd. Dümmlers Verlagsbuchhandlung Harrwitz und Gossmann.
- Stevens, K. N. (1960). Toward a model for speech recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 32(1), 47-55.
- Stevens, K. N., and Halle, M. (1967). "Remarks on analysis by synthesis and distinctive features," in *Models for the Perception of Speech and Visual Form*, edited by W. Wathen-Dunn (MIT, Cambridge, MA), pp. 88-102

- Stout, D. (2011). Stone toolmaking and the evolution of human culture and cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1567), 1050-1059.
- Stout, D., & Chaminade, T. (2007). The evolutionary neuroscience of tool making. *Neuropsychologia*, 45(5), 1091-1100.
- Stout, D., & Hecht, E. (2015). Neuroarchaeology. In *Human paleoneurology* (pp. 145-175). Springer, Cham.
- Sturzbecher, M.; J. Métodos clássicos e alternativos para a análise de dados de fMRI e EEG-fMRI simultâneo em indivíduos assintomáticos, pacientes com epilepsia e com estenose carotídea. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.
- Sundara, M., Namasivayam, A. K., & Chen, R. (2001). Observation–execution matching system for speech: a magnetic stimulation study. *Neuroreport*, 12(7), 1341-1344.
- Suzuki, H. and Azuma, M. Topographic studies on visual neurons in the dorsolateral prefrontal cortex of the monkey. *Exp. Brain Res.*, 1983, 53: 47–58.
- Suzuki, W., Banno, T., Miyakawa, N., Abe, H., Goda, N., & Ichinohe, N. (2015). Mirror Neurons in a New World Monkey, Common Marmoset. *Frontiers in neuroscience*, 9, 459. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00459>.
- Tanner, J. E., & Byrne, R. W. (1996). Representation of action through iconic gesture in a captive lowland gorilla. *Current Anthropology*, 37(1), 162-173.
- Tattersall, I. (2012). *Masters of the planet: The search for our human origins*. St. Martin's Press.
- Terrace, H. S., Petitto, L. A., Sanders, R. J., & Bever, T. G. (1979). Can an ape create a sentence?. *Science*, 206(4421), 891-902.
- Tettamanti, M., & Moro, A. (2012). Can syntax appear in a mirror (system)?. *cortex*, 48(7), 923-935.

- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., ... & Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(2), 273-281.
- Tettamanti, M., Manenti, R., Della Rosa, P. A., Falini, A., Perani, D., Cappa, S. F., & Moro, A. (2008). Negation in the brain: Modulating action representations. *Neuroimage*, 43(2), 358-367.
- Hickok, G. (2014). The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition. Citation.
- Thompson-Schill, S. L., D'Esposito, M., Aguirre, G. K., & Farah, M. J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(26), 14792-14797.
- Toga, A. W. (2015). *Brain mapping: An encyclopedic reference*. Academic Press.
- Tomasello, M. (Ed.) (1998). *The New Psychology of Language: Cognitive and Functional. Approaches to Language Structure*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Tranel, D., Kemmerer, D., Adolphs, R., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2003).
- Triarhou, L. C. (2006). The signalling contributions of Constantin von Economo to basic, clinical and evolutionary neuroscience. *Brain research bulletin*, 69(3), 223-243.
- Triarhou, L. C. (2007). The Economo-Koskinas atlas revisited: cytoarchitectonics and functional context. *Stereotactic and functional neurosurgery*, 85(5), 195-203.
- Turner, O.A. Growth and development of the cerebral cortical pattern in man. *Arch. Neurol. Psychiatry*, 1948, 59: 1–12.
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C. & Rizzolatti, G. 2001 'I know what you are doing': a neurophysiological study. *Neuron* 32,9 1 –1.

- Varela, F., Rosch, E., & Thompson, E. (1991). *The Embodied Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vigliocco, G., Warren, J., Siri, S., Arciuli, J., Scott, S., & Wise, R. (2006). The role of semantics and grammatical class in the neural representation of words. *Cerebral cortex*, 16(12), 1790-1796.
- Vogt, C., & Vogt, O. (1919). Allgemeinere Ergebnisse unserer Hirnforschung, dritte Mitteilung: die architektonische Rindenfelderung im Lichte unserer neuesten Forschungen. *J Psychol Neurol*, 25, 361-376.
- Von Bonin, G. (1947). *The neocortex of macaca mulatta*. Monographs in Medical Sciences., 5, 136.
- Von Bonin, G. and Bailey, P., *The Neocortex of Macaca Mulatta*, Univ. Illinois Press, Urbana, 1947, 136 pp.
- von Economo, C. F., & Koskinas, G. N. (1925). *Die cytoarchitektonik der hirnrinde des erwachsenen menschen*. J. Springer.
- von Economo, C. F., Koskinas, G. N., & Triarhou, L. C. (2008). *Atlas of cytoarchitectonics of the adult human cerebral cortex* (Vol. 10, p. 182). Basel: Karger.
- Von Humboldt, W. (1999). *Humboldt: 'On language': On the diversity of human language construction and its influence on the mental development of the human species*. Edited by Michael Losonsky: translated by Peter Heath. Cambridge University Press.
- Wagner, A. D., Paré-Blagoev, E. J., Clark, J., & Poldrack, R. A. (2001). Recovering meaning: left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. *Neuron*, 31(2), 329-338.
- Warrington, E. K. (1975). The selective impairment of semantic memory. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 27(4), 635-657.
- Warrington, E. K., & McCarthy, R. (1983). Category specific access dysphasia. *Brain*, 106(4), 859-878.

- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829-853.
- Waxman, S.G. (1980), Determinants of conduction velocity in myelinated nerve fibers. *Muscle Nerve*, 3: 141-150. <https://doi.org/10.1002/mus.880030207>
- Weedwood, B. (2002). *História concisa da lingüística*.
- Werker, J. F., & Hensch, T. K. (2015). Critical periods in speech perception: new directions. *Annual review of psychology*, 66(1), 173-196.
- Wernicke, C. *Der aphasische Symptomenkomplex: Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. In Eggert GH (Ed), *Wernicke's works on aphasia: A sourcebook and review*. The Hague: Mouton, 1874/1977.
- Whalley, H. C., O'Connell, G., Sussmann, J. E., Peel, A., Stanfield, A. C., Hayiou-Thomas, M. E., ... & Hall, J. (2011). Genetic variation in CNTNAP2 alters brain function during linguistic processing in healthy individuals. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*, 156(8), 941-948.
- Wiesel, T. N. (1982). Postnatal development of the visual cortex and the influence of environment. *Nature*, 299(5884), 583-591.
- Wilson, Edward Osborne, 1929. *Sociobiology*. Harvard University Press.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations*. Oxford: Basil Blackwell. (Anscombe, G.E.M., trans.).
- Woese, C. R. (2004). A new biology for a new century. *Microbiology and molecular biology reviews*, 68(2), 173-186.
- Wynn, T. (2002). Archaeology and cognitive evolution. *Behavioral and brain sciences*, 25(3), 389-402
- Yue, G., & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of neurophysiology*, 67(5), 1114-1123.

- Zaccarella, E., & Friederici, A. D. (2015). Merge in the human brain: A sub-region based functional investigation in the left pars opercularis. *Frontiers in psychology*, 6, 1818.
- Zanuttini, R. (1997). *Negation and clausal structure: A comparative study of romance languages*. Oxford University Press.
- Zilles, K., Schlaug, G., Matelli, M., Luppino, G., Schleicher, A., Qu, M.S., Dabringhaus, A., Seitz, R. and Roland, P.E. Mapping of human and macaque sensorimotor areas by integrating architectonic, transmitter receptor MRI and PET data. *J. Anat.*, 1995, 187: 515–537.
- Zubicaray, G., Postle, N., McMahon, K., Meredith, M., & Ashton, R. (2010). Mirror neurons, the representation of word meaning, and the foot of the third left frontal convolution. *Brain and language*, 112(1), 77-84.

GLOSSÁRIO

Afasia - Distúrbio de linguagem devido a uma disfunção em uma área específica relacionada à linguagem, geralmente causada por acidentes vasculares cerebrais, traumatismos cranianos ou atrofia cortical.

Área de Broca - Região do córtex cerebral na parte inferior do lobo frontal do cérebro. Consiste em duas partes citoarquiteticamente separáveis, uma parte anterior chamada pars triangularis (área de Brodmann 45) e uma parte posterior nomeada pars opercularis (área de Brodmann 44).

Área de Brodmann (BA) - Região do córtex cerebral definida com base em sua citoarquitetônica, ou organização das células, segundo a classificação proposta por Brodmann (1909).

Área de Wernicke - Região do córtex cerebral no lobo temporal do cérebro, localizada na seção posterior do giro temporal superior (BA 22).

Axônio - Conexão das células nervosas por onde passa sinais para outros neurônios. Os axônios entram em contato com outros neurônios por meio de sinapses nas quais a transmissão dos sinais é realizada por neurotransmissores.

Bandas de frequência - Onda delta: faixa de frequência da atividade cerebral entre 1–4 Hz; onda theta: faixa de frequência da atividade cerebral entre 4–8 Hz; onda alfa: faixa de frequência da atividade cerebral entre 8–13 Hz; onda beta: faixa de frequência da atividade cerebral entre 13–30 Hz; onda gama: faixa de frequência da atividade cerebral entre 30-100 Hz.

BOLD - Dependente do nível de oxigênio no sangue - Uma medida das alterações da atividade neural, com base no efeito do acoplamento neurovascular, em resposta à estimulação externa ou às flutuações intrínsecas em repouso.

Camadas corticais - Níveis estruturais de organização celular da substância cinzenta. O córtex cerebral consiste principalmente em seis camadas, que podem ser distinguidas de acordo com o tipo de densidade das células nervosas.

Cerebelo - Região do cérebro localizada abaixo do cérebro no mesencéfalo, atrás do quarto ventrículo da ponte e da medula.

Corpo caloso - Maior estrutura de substância branca do cérebro conectando os hemisférios esquerdo e direito ao longo da parte inferior da fissura longitudinal medial.

Córtex auditivo primário - Localizado na superfície superior do lobo temporal bilateralmente no chamado giro de Heschl, também chamado de córtex auditivo primário (BA 41). Além disso, três regiões podem ser identificadas adjacentes ao giro de Heschl: uma região localizada posteriormente (o plano temporal), uma região anterolateral ao giro de Heschl (o plano polar) e uma região na convexidade lateral do córtex no giro temporal superior que se estende inferiormente ao sulco temporal superior.

Córtex Motor - Área do lobo frontal localizada ao longo do giro pré-central dorsal anteriormente ao sulco central. Compreende o córtex motor primário (BA 4), o córtex pré-motor (BA 6) e a área motora suplementar.

Dendrito - Conexão das células nervosas recebendo sinais de outros neurônios.

Eletroencefalografia (EEG) - Técnica que registra no escalpo cabeludo a atividade elétrica como oscilações neurais refletidas em diferentes bandas de frequência.

Faculdade de Linguagem - Predisposição mental para aprender, produzir e entender a linguagem.

Fascículo arqueado - Via neural conectando o córtex pré-frontal ao giro temporal superior posterior dorsalmente. Ele corre parcialmente em paralelo com o fascículo longitudinal superior das regiões pré-frontal às parietais, mas não em sua porção posterior, curvando-se para o córtex temporal posterior.

Fascículo fronto-occipital inferior - via ventral conectando BA 45 e BA 47 com o giro temporal superior posterior/giro temporal médio e o córtex occipital, também chamado de Sistema de Fibras Cápsulas Extremas.

Fascículo longitudinal superior - Via neural que conecta o lobo parietal inferior ao córtex pré-motor e frontal.

Fascículo uncinado - Via ventral conectando o opérculo frontal ao córtex temporal anterior.

Filogenia - Curso evolutivo de um tipo de organismo.

Fonema - Representação de uma unidade sonora que distingue umas palavras das outras em uma determinada língua.

Fonologia - Estudo dos sons como elementos discretos e abstratos na mente do falante que distingue o significado.

Frase - Grupo de palavras, ou uma única palavra, formando um constituinte na estrutura sintática de uma frase. As frases são nomeadas de acordo com a categoria sintática do elemento principal dentro dela (frase nominal, determinante, locução adjetiva, etc.).

Giro angular - Posterior ao giro supra marginal, localizado no lobo parietal, ao longo da borda superior do lobo temporal e limitado ventralmente pelo sulco temporal superior (BA 39).

Giro frontal inferior - Giro do lobo frontal do cérebro humano. Sua borda superior é o sulco frontal inferior, sua borda inferior é a fissura lateral e sua borda posterior é o sulco pré-central inferior. Acima dele está o giro frontal médio, atrás o giro pré-central.

Giro fusiforme - Parte do lobo temporal limitada medialmente pelo giro parahipocampal, lateralmente pelo giro temporal inferior e caudalmente pelo giro lingual.

Giro pré-central - Giro situado entre o sulco central e o giro pós-central no lobo frontal.

Giro temporal antero-superior - Localizado na seção anterior do giro temporal superior. Medialmente, é limitada pelo sulco circular da ínsula e estende-se lateralmente desde o limite anterior do sulco temporal superior até o limite anterior do sulco de Heschl.

Giro temporal médio - Giro no lobo temporal localizado entre o sulco temporal superior e inferior.

Giro temporal superior - Um dos três giros do lobo temporal do cérebro humano, limitado pelo sulco lateral acima e pelo sulco temporal superior abaixo. Inclui BA 41 e 42 (córtex auditivo primário) e área posterior de Wernicke (BA 22).

Gramática - Conjunto de regras que expressam como as palavras podem ser combinadas em um determinado idioma.

Hipocampo - Principal componente do cérebro de humanos e outros mamíferos. Em humanos e outros primatas, o hipocampo está localizado dentro do lobo temporal medial, abaixo da superfície cortical. Como o córtex cerebral, com o qual está intimamente associado, é uma estrutura emparelhada, com metades de imagens espelhadas nos lados esquerdo e direito do cérebro.

Lobo frontal - Um dos quatro lobos corticais de humanos e outros mamíferos, localizado na frente de cada hemisfério cerebral e posicionado anteriormente (na frente do) lobo parietal e superior e anterior aos lobos temporais.

Lobo occipital - Um dos quatro lobos corticais de humanos e outros mamíferos, localizado na porção mais posterior do cérebro, atrás do lobo parietal e do lobo temporal.

Lobo parietal - Um dos quatro lobos corticais de humanos e outros mamíferos, localizado acima do lobo occipital e atrás do lobo frontal e do sulco central.

Lobo temporal - Um dos quatro lobos corticais de humanos e outros mamíferos, localizado abaixo da fissura silviana em ambos os hemisférios cerebrais.

Magnetoencefalografia (MEG) - Técnica que registra campos magnéticos induzidos por atividade eletrocortical. A magnetoencefalografia fornece informações sobre a amplitude, latência e topografia dos componentes magnéticos relacionados à linguagem.

Matéria cinzenta - Cobertura externa de 2 a 3 mm sobre os giros e sulcos do córtex cerebral, contendo numerosos corpos celulares, organiza-se ao longo de diferentes camadas corticais.

Merge - Na linguagem humana, o mecanismo computacional que constrói novos objetos sintáticos.

Mielina - Substância gordurosa branca que envolve o axônio das células nervosas e funciona como camada isolante para a transmissão elétrica.

Mielinização - O crescimento da mielina durante o desenvolvimento.

Morfemas - Menor unidade linguística portadora de um significado.

Morfologia - Estudo das estruturas internas das palavras em unidades linguísticas fundamentais (morfemas).

Neurônio - Célula eletricamente excitável do sistema nervoso.

Neurotransmissores - Mensageiros químicos que permitem a neurotransmissão de um neurônio para outro.

Ontogenia - Curso de desenvolvimento de um organismo individual.

Opérculo frontal - Região cerebral no córtex frontal inferior cobrindo a ínsula e posicionada ventro medial próxima à clássica região cerebral relacionada à linguagem chamada área de Broca.

Oscilação - Disparo rítmico ou repetitivo de uma população de neurônios no sistema nervoso central. O número de disparos por segundo representa a frequência da oscilação. Dependendo do número de disparos, diferentes bandas de frequência podem ser isoladas.

Pars opercularis - Parte opercular do giro frontal inferior na seção posterior da área de Broca (BA 44).

Pars orbitalis - Parte orbital do giro frontal inferior localizada antero-ventralmente à área de Broca (BA 47).

Pars triangularis - Parte triangular do giro frontal inferior na seção anterior da área de Brocas (BA 45).

Pragmática - Estudo do conhecimento contextual durante a comunicação.

Prosódia - Conjunto de propriedades da fala que descrevem a linguagem no nível suprasegmental (sílabas, palavras prosódicas, frases entoacionais). Essas propriedades incluem entonação, tom, ênfase e ritmo.

Receptorarquitetura - Descrição do córtex no nível da distribuição regional e laminar de receptores de neurotransmissores em diferentes regiões corticais.

Receptores - Molécula de proteína que recebe sinais químicos (neurotransmissores) de fora da célula.

Ressonância magnética funcional (fMRI) - Técnica para localizar a atividade cerebral relacionada a funções específicas no cérebro. Substituiu a tomografia por emissão de pósitrons parcialmente invasiva por um método não invasivo de última geração para a reconstrução anatômica funcional da rede da linguagem na ordem de submilímetros. A resolução temporal da ressonância magnética é limitada, pois mede a hemodinâmica da atividade cerebral que ocorre na ordem de segundos. A ressonância magnética funcional revela informações precisas sobre a localização e a magnitude das alterações da atividade neural em resposta à estimulação externa, mas também sobre flutuações intrínsecas em repouso, ou seja, na ausência de estimulação externa. Essas mudanças de atividade neural são refletidas em mudanças de sinal dependentes do nível de oxigênio no sangue (BOLD) com base no efeito do acoplamento neurovascular.

Segmental - Qualquer segmento de fala que pode ser identificado no fluxo de fala.

Semântica - Estudo do significado de palavras individuais e o significado de palavras agrupadas em frases e sentenças.

Sílaba - Grupo de sons constituído por um conjunto opcional (tipicamente, consoantes), um núcleo (geralmente, vogal) e uma coda silábica opcional.

Sintaxe - Regras para organizar itens (palavras, partes de palavras e frases) em suas possíveis combinações permitidas em um idioma.

Substância branca - Estrutura do cérebro composta principalmente por feixes de fibras que no estado maduro são circundados por mielina, permitindo a rápida propagação de um sinal elétrico.

Sulco central - Dobra no córtex cerebral dos cérebros dos vertebrados. Marco proeminente do cérebro, separando o lobo parietal do lobo frontal e o córtex motor primário do córtex somatossensorial primário.

Sulco frontal inferior - Sulco localizado entre o giro frontal médio e o giro frontal inferior.

Sulco pré-central - Sulco localizado paralelamente e à frente do sulco central. Ele divide os giros frontal inferior, médio e superior do giro pré-central. Na maioria dos cérebros, o sulco pré-central é dividido em duas partes: o sulco pré-central inferior e o sulco pré-central superior. No entanto, o sulco pré-central também pode ser dividido em três partes ou formar um sulco contínuo.

Sulco temporal superior - Sulco que separa o giro temporal superior do giro temporal médio no córtex temporal.

Suprasegmental - Características de um som ou sequência de sons além de um único som da fala, como tonicidade ou tom.

Tálamo - Estrutura simétrica da linha média subcortical de duas metades localizada entre o córtex cerebral e o mesencéfalo.