UMA INTERFACE EM LINGUAGEM NATURAL PARA

RECUPERAÇÃO DO CONHECIMENTO

Lucia Helena Machado Rino

Orientadora:

Profa.Dra. Maria Carolina Monard

Dissertação apresentada ao Instituto de
Ciências Matemáticas de São Carlos, da
Universidade de São Paulo, para a obten-
ção do título de Mestre em Ciências de
Computação.

São Carlos

Agosto de 1987

A

José Pedro,

Tiago e

Guilherme

Agradeço

à Profa. Maria Carolina Monard e ao
Prof. Antonio E. Costa Pereira,
pela orientação;

à Profa. Dóris F. de Aragon,
pelas críticas construtivas;

a Norma Eiras e Maria da Graça V. Nunes,
pela amizade constante;

a Sônia Zabotto,
pelo valioso serviço de datilografia;

a José Pedro,
pelo incentivo, apoio e dedicação;

àqueles que de um modo ou de outro
contribuíram para este trabalho.

Este trabalho contou com o apoio financeiro do
CNPq.

RESUMO

Neste trabalho foram dados os primeiros passos na direção de se obter uma interface em linguagem natural para consulta a bases de dados.

O projeto desta interface prevê um sistema eclético em que vários modelos cognitivos interagem para permitir a compreensão de perguntas. Um protótipo foi construído de modo a mostrar a viabilidade do sistema final. Neste protótipo experimentou-se várias das técnicas propostas para sistemas de interface, com resultado satisfatório.

ABSTRACT

In this work the first steps towards getting a Natural Language Interface for data access were taken.

The project of this interface foresees an eclectic system in which several cognitive models interact in order to allow the comprehension of questions. A prototype was built to show the feasibility of the final system. In this prototype many of the proposed techniques for interface systems were experimented and a satisfactory result was attained.

INDICE

INTRODUÇÃO	1
CAPITULO I - Aspectos da linguagem	
1.1. Introdução	7
1.2. Aspectos da linguagem humana	8
1.2.1. Aspecto sintático	8
1.2.2. Aspecto semântico	13
1.2.3. Conclusões	29
1.3. Aspectos da linguagem computacional	32
1.4. Aspectos abordados neste trabalho	35
CAPITULO II - Arquitetura dos sistemas de processamento de linguagem natural	
2.1. Introdução	39
2.2. Especificação dos módulos	42
2.2.1. Análise de sentenças	42
2.2.2. Geração de respostas	75
2.2.3. Acesso ao conhecimento específico .	80
2.2.4. Interação com o usuário	82
CAPITULO III - Sistemas de processamento de linguagem natural existentes	
3.1. Evolução	86
3.2. Relação de nosso trabalho com os sistemas existentes	104

CAPITULO IV - Representação do conhecimento e

linguagens intermediárias em

sistemas de processamento de linguagem natural

4.1. Introdução	106
4.2. Linguagens intermediárias	108
4.2.1. Primitivas semânticas e dependência conceitual	108
4.2.2. Fórmulas lógicas	125
4.2.3. Estruturas de casos	133
4.2.4. Conexões	145

CAPITULO V - Uma interface em linguagem natural para recuperação do conhecimento

Apresentação do trabalho

5.1. Introdução	171
5.2. Arquitetura do sistema	174
5.2.1. Análise de sentenças	174
5.2.2. Acesso ao conhecimento específico .	180
5.2.3. Módulo de interação	183
5.2.4. Outros módulos do sistema	184
5.3. Fundamentos teóricos	186

CAPITULO VI - Conclusões

195

Referências bibliográficas

202

INTRODUÇÃO

No final da década de 1940, os projetistas de computadores começaram a se preocupar com o fato das máquinas existentes possuírem somente a característica de uma grande máquina de cálculo que era utilizada principalmente como suporte técnico e determinístico nos estudos desenvolvidos por classes restritas de usuários.

Grande parte da atenção dos cientistas voltou-se para o computador, ao qual se aplicou grandes investimentos monetários e sobre o qual se depositou enormes expectativas no que dizia respeito às promessas de aplicabilidade futura. As pesquisas deveriam ser bem direcionadas para que ele fosse utilizado, se não em sua totalidade, ao menos até um ponto que justificasse e fundamentasse os anseios das pessoas que aceitavam a idéia de ser esta a "máquina do futuro".

Assim, os cientistas viram que se tentassem fazer com que o computador se comportasse de modo mais "inteligente", sua versatilidade e poder responderiam aos anseios de então. Como ponto de partida era necessário estabelecer um modelo de comportamento inteligente e isto os levou ao aprofundamento do estudo do comportamento humano. Se a máquina pudesse aglomerar algumas das características humanas tais como rapidez de raciocínio, capacidade de comunicação verbal, escrita ou sensorial e comportamento não determinístico, grande passo seria dado no sentido de fazer com que o trabalho automatizado auxiliasse o homem em atividades diversas não só em ambiente de pesquisa, mas também em tarefas diárias e diversões, permitindo que leigos também se

utilizassem dos recursos da informática.

Surgiram, então, estudos com respeito à movimentação, observação, resolução de problemas, aprendizado, compreensão, e tudo o que pudesse estar relacionado à inteligência, caracterizando assim o campo de pesquisa em Inteligência Artificial (IA).

Esses estudos deram origem às áreas correlatas em IA, a saber: robótica, sistemas especialistas, tratamento de linguagem natural, entre outras. Boa parte do interesse recaiu sobre o processamento de linguagem natural, devido à necessidade do usuário se comunicar com a máquina.

O desenvolvimento físico do computador sempre esteve estreitamente relacionado ao desenvolvimento operacional. Este engloba o módulo de interação com o meio exterior, cujo elo de comunicação se traduz como linguagem. No início a comunicação homem-máquina era realizada através de uma linguagem de baixo nível. Depois, com o avanço das pesquisas e conseqüentes melhorias introduzidas na máquina, foi necessário desenvolver uma interface mais expressiva refletida pelas linguagens de alto nível.

Mais uma vez, como as pesquisas atuais avançam no sentido de fazer com que o computador auxilie o homem de modo "inteligente", é preciso que todas as ferramentas disponíveis para seu uso sejam também reconsideradas. Sendo assim, busca-se um refinamento na comunicação homem-máquina, que reflita o aumento das potencialidades da linguagem de alto nível.

Uma meta muito ambiciosa é permitir que um usuário leigo acesse o computador usando sua linguagem do dia-a-dia sem necessidade de treinamento prévio. Porém, não é uma tarefa fácil projetar um mecanismo de caráter geral que compreenda textos. Portanto, uma possível abordagem implica em restringir o campo de ação à construção de um sistema que seja capaz de entender, interpretar e responder requisições de um grupo restrito de usuários em sua própria língua mãe. Essa língua deve ser caracterizada por um único padrão de fala ou escrita, para que se possa usá-la num sistema computacional a fim de medir a eficiência e o avanço obtidos na tentativa de se projetar um elo de comunicação de caráter geral.

Nossa abordagem do problema de se construir uma interface em linguagem natural leva em consideração as limitações impostas na simulação de uma máquina inteligente para compreender textos e como acabamos de dizer, restringe seu domínio de ação ao tratamento de alguns aspectos da língua portuguesa. Assim, o objetivo deste trabalho é construir um sistema de compreensão de linguagem natural para um subconjunto da língua portuguesa, que possua conhecimento sobre determinado assunto a fim de permitir uma interação com um usuário que só sabe comunicar-se em português.

Entende-se por conhecimento de um sistema a quantidade de informações que este retém, assim como a capacidade do sistema relacionar essas informações de forma abrangente a fim de manter uma interação "inteligente" e de boa qualidade com o usuário.

A idéia é fazer com que o sistema permita que o usuário acesse seu conhecimento através do processamento das sentenças introduzidas por ele. Como estas sentenças são sentenças da linguagem natural, diremos que o sistema permitirá acesso a suas informações ao processar, de modo geral, a linguagem natural utilizada no processo de comunicação.

Para isso precisamos dotar o sistema de mecanismos que lhe permitam extrair o significado das sentenças da linguagem, procurando representá-lo de modo único e preciso. Este processo não é trivial, pois envolve construções lingüísticas cujo tratamento inicia-se com uma simples verificação das palavras e caminha no sentido de relacionar essas palavras formando estruturas mais complexas, que traduzem não só o relacionamento superficial das palavras mas principalmente seu relacionamento abstrato, que corresponde ao significado associado às estruturas.

Para um bom sistema de compreensão esse significado deve corresponder ao mesmo significado que seria obtido se em vez do sistema houvesse uma segunda pessoa interagindo com o usuário. A eficácia do sistema pode ser medida, portanto, pela comparação de seu desempenho com o desempenho do ser humano em situação equivalente.

Procurando atingir essa meta, caracterizamos nossa interface como uma composição dos seguintes procedimentos:

1. Mapeamento das sentenças numa representação de seu significado, através dos processos de análise usuais na linguagem de base da interface.

2. Identificação desse significado com a fonte de conhecimento do sistema.

3. Formulação de sentenças em linguagem natural utilizando algumas informações obtidas da fonte de conhecimento do sistema. Estas informações devem ter sido identificadas pelo processo anterior (item 2).

Veremos neste trabalho como simular esses procedimentos de modo que seu desempenho assemelhe-se ao desempenho humano.

No Cap. I introduzimos os aspectos mais importantes da construção de sentenças da linguagem natural por seres humanos para, em seguida, estabelecermos as fronteiras da representação computacional para o mesmo tipo de sentenças. Em seguida explicitamos os aspectos abordados neste trabalho.

No Cap. II sintetizamos as características básicas que um sistema de processamento de linguagem natural para consulta a bases de dados deve ter. Este sistema figura como um interlocutor no processo de comunicação com o ser humano.

No terceiro capítulo comentamos a evolução dos sistemas de processamento de linguagem natural, evidenciando suas principais qualidades e falhas para, em seguida, procurarmos enquadrar nossa interface entre esses sistemas.

No Cap. IV relatamos quatro teorias de representação de conhecimento para sistemas de processamento de linguagem natural. O significado das sentenças é representado através de uma linguagem intermediária que pode coincidir com a linguagem de representação do significado. Qualquer que seja a linguagem intermediária, ela deve ser independente dos aspectos problemáticos da

linguagem usual. Estudamos essas teorias para delinear o problema da representação computacional do conhecimento.

Finalmente, no quinto capítulo apresentamos o protótipo de nossa interface em linguagem natural para recuperação do conhecimento, discorrendo sobre sua arquitetura e fundamentando as decisões tomadas na fase de construção do protótipo através da verificação da origem-das-ideias implementadas.

Concluimos este trabalho apontando os problemas encontrados no decorrer da construção do protótipo e sugerindo modificações para que o desempenho do sistema, quando terminado, permita sua implantação como sistema de consulta a bases de dados.

CAPITULO I

ASPECTOS DA LINGUAGEM

1.1 - Introdução

Para que um ser humano compreenda uma linguagem de comunicação, ele deve dominar os seguintes aspectos da referida linguagem:

Aspecto léxico: aquisição de um vocabulário que possa refletir os conceitos observados no dia-a-dia.

Aspecto sintático: aprendizado de um método para relacionar palavras do vocabulário de forma a construir mensagens coerentes. Métodos desse tipo são, na realidade, o estabelecimento de regras de formação de sentenças através da ordenação entre as palavras e também entre as expressões que correspondem a agrupamentos de palavras.

Aspecto Semântico: uma vez adquiridos o vocabulário e o conhecimento sintático para manipular as palavras, é necessário dominar as estruturas que representam os tipos de conceitos, de modo a permitir o relacionamento correto entre os mesmos.

A nível computacional, tratamento similar deve ser dado ao processamento de linguagem natural.

Vamos supor que num processo de compreensão de linguagem natural já haja conhecimento sobre um vocabulário qualquer e

comentemos, em primeiro lugar, o aspecto sintático da comunicação, para depois considerarmos a visão semântica.

1.2 - Aspectos da linguagem humana

1.2.1 - Aspecto sintático

O aspecto sintático ganhou relevância com os trabalhos de Noam Chomsky, que formalizou um modelo de representação ao qual deu o nome de Gramática Gerativa. Esta gramática possui um número finito de regras que podem explicitar ou criar um número infinito de frases da linguagem. Assim, todas as sentenças geradas de acordo com esse modelo são sentenças corretas da linguagem.

A sintaxe da gramática é responsável pelo estabelecimento de uma ordem entre os constituintes das frases, onde expressões mais complexas são representadas pela colocação de expressões mais simples. Em seu estágio elementar, estas expressões correspondem às palavras do vocabulário, que podem ser combinadas a fim de expressar o pensamento de modo coerente.

Segundo Chomsky, essa combinação de palavras deve ser dirigida pela aceitabilidade das sentenças por um falante ou ouvinte. Assim, a sintaxe de uma gramática deve ser capaz de gerar todas as sentenças que sejam mais compreensíveis ou mais naturais ou ainda mais facilmente produzidas por um falante/ouvinte.

A partir de sua gramática gerativa, Chomsky desenvolveu

a teoria de Gramática Transformacional, cujo mecanismo pressupõe que a sintaxe possui dois componentes: um componente de base, relacionado à estruturação fundamental das sentenças, ao qual deu o nome de estrutura profunda e um componente transformacional, relacionado à transformação da estrutura profunda em estrutura de frase, ao qual deu o nome de estrutura de superfície.

A estrutura profunda corresponde a um nível abstrato em que se representam as relações fundamentais entre os constituintes da sentença. A estrutura de superfície corresponde ao nível de organização das palavras na sentença, tal como esta se apresenta ao falante/ouvinte. Assim, para duas sentenças com estruturas de superfície distintas podemos atribuir uma única estrutura profunda. Por exemplo, as sentenças:

"O menino quebrou a vidraça."

"A vidraça foi quebrada pelo menino."

possuem a mesma estrutura profunda, que corresponde à informação "o menino quebrou a vidraça", embora suas representações superficiais sejam distintas.

A transformação existente neste exemplo é chamada transformação passiva, pois a partir da estrutura profunda conseguimos gerar uma estrutura de superfície "apassivando" o conceito dado por

"O menino quebrou a vidraça".

O resultado do apassivamento é

"A vidraça foi quebrada pelo menino."

Na realidade, para obter sentenças da linguagem obtém-se primeiramente possíveis estruturas profundas através da aplicação de regras gerativas. Em seguida, serão aplicadas regras de transformação às estruturas profundas, cujo resultado corresponderá às estruturas de superfície das sentenças.

Terminado o processo de transformação, dizemos que a geração das sentenças está completa. Devido a essas características, esse formalismo gramatical desenvolvido por Chomsky recebeu o nome de Gramática Gerativa e Transformacional.

De modo inverso, podemos obter a estrutura profunda de sentenças ao aplicar à sua estrutura de superfície as transformações permitidas pelas regras de transformação, caracterizando o processo de análise das sentenças.

No nosso trabalho chamaremos de estrutura-chave a obtenção da estrutura profunda de uma sentença à qual já conjugamos informações para a compreensão da mesma.

Sabemos que as sentenças são as estruturas mínimas às quais se consegue atribuir um significado. Assim, num processo de comunicação um interlocutor formula sentenças que devem ser compreendidas pelo seu parceiro. O ato de compreensão corresponde à extração da estrutura-chave das sentenças, que relaciona os conceitos transmitidos por seus constituintes.

Inicialmente, as regras gramaticais de uma língua permitem reconhecer a estrutura de superfície correta de uma sentença. Por exemplo, podemos dizer que uma sentença é constituída por um sintagma nominal seguido de um sintagma verbal. Representamos essa afirmação pela fórmula

S ---> sn, sv.

onde S representa sentença,
sn representa sintagma nominal e
sv representa sintagma verbal.

De modo similar, regras gramaticais são definidas para o reconhecimento dos sintagmas em questão, e assim sucessivamente, até que os constituintes das categorias gramaticais intermediárias sejam elementares. Portanto, o que temos é uma construção hierárquica de conjuntos de elementos, cada conjunto representando uma sentença.

Um sintagma nominal tem como elemento essencial um nome; um sintagma verbal, um verbo e um preposicional, uma preposição.

Por exemplo, os seguintes sintagmas são:

1. Nominais: um autor

Maria

Aquele cão

2. Verbais: come sua comida.

escreve um livro.

trabalha com afinco.

é de João.

3. Preposicionais: com afinco

de João

Num processo de análise, as palavras ocuparão lugares

bem determinados como constituintes de uma sentença, de acordo com sua categoria gramatical. Conseqüentemente, palavras de uma mesma categoria podem ocupar o mesmo lugar em estruturas sintáticas similares, pois definem um contexto característico. Por exemplo, um verbo não pode ocupar o lugar de uma preposição numa sentença. Esta restrição é definida a nível sintático. Veremos, no entanto, que ela não precisa ser muito severa em alguns casos, pois possuímos palavras que podem determinar conceitos distintos quando ocupam categorias gramaticais diversas nas sentenças. É o caso da palavra como, por exemplo. Em determinado contexto, pode significar uma ação, referindo-se ao verbo comer. Em outro, pode significar uma comparação entre elementos, referindo-se a uma preposição.

Assim, permitimos que esta palavra assuma categorias gramaticais distintas nas seguintes sentenças:

"Ele é macio como o pão."

"Como o pão que acabou de sair do forno."

Esta característica de diversidade de interpretação para palavras idênticas, quando estas assumem diversas categorias gramaticais em decorrência de contextos distintos, é geradora de problemas na interpretação, como veremos adiante.

Completada a análise sintática, para obter a estrutura-chave das sentenças é preciso ainda estabelecer as regras que permitem o relacionamento conceitual dos seus constituintes. Essas regras são chamadas regras semânticas.

1.2.2 - Aspecto semântico

A semântica de uma gramática é o estudo da viabilidade do relacionamento entre os constituintes da estrutura gramatical mínima, a sentença, ordenados de acordo com a sintaxe. Uma sentença é viável se a ela estiver associado um significado coerente.

É possível ocorrerem vários tipos de relações entre os constituintes de uma sentença. Podemos separá-los em dois grupos:

A. O relacionamento que ocorre em sentenças simples, reduzindo-se às relações entre verbo e sujeito, verbo e objeto, frase e informações adicionais introduzidas por preposições, etc.. Por exemplo, na sentença:

"Vou ao clube."

relacionamos o sujeito (eu) ao verbo ir, cuja semântica exige como complemento do verbo um designativo de local. Já a sentença:

"Vou ao clube às dez horas."

introduz um complemento da frase anterior, que fornece uma relação semântica temporal à informação principal da mesma.

B. O relacionamento semântico que ocorre em sentenças cujas construções não são diretas como as dos exemplos anteriores.

Na linguagem natural fazemos uso de diversas construções que podem acarretar diversos problemas para a compreensão. Vamos dividi-las em classes:

b.1) Problemas lingüísticos

b.1.1) Anáfora

É um modo de se fazer referências a informações já mencionadas na comunicação, que só podem ser interpretadas no contexto. Podem ocorrer em duas sentenças distintas, onde na última há referência a informações contidas numa sentença anterior, ou numa mesma sentença, onde a referência diz respeito a algum constituinte da mesma, já mencionado anteriormente. Em geral, problemas desse tipo referem-se a elipses ou ao uso de pronomes. As elipses são omissões de algum ou de um conjunto de constituintes de uma sentença. Os pronomes substituem algum constituinte nominal mencionado anteriormente.

Tanto um quanto outro caso não prejudicam a compreensão da sentença em que ocorre a anáfora, já que é possível recuperar elementos que completem o seu significado através de conhecimento anterior, que pode ocorrer na mesma sentença ou em sentenças distintas. Se este conhecimento não existir, a sentença não terá nexos.

Por exemplo:

1.) "Você foi buscar o par de luvas?

E as meias?"

Na segunda sentença, referenciamo-nos à primeira através da elipse do sujeito e do verbo. Na realidade o significado explícito diz respeito à sentença:

"E você foi buscar as meias?"

2.) "Márcio cortou o salame com um facão e colocou-o no sanduíche." [Sowa-84]

Aqui temos a anáfora caracterizada pela utilização do pronome pessoal do caso oblíquo *o*, cuja categoria gramatical substitui um sintagma nominal, complemento do verbo transitivo direto colocar. Ao compreender a sentença, vemos que este sintagma deve ter como núcleo a palavra salame, pois podemos colocar um alimento de nome salame num sanduíche.

3.) "Qual é o horário do voo para San Francisco?"

Tomarei o primeiro."

Este exemplo foi extraído do sistema Gus. A palavra primeiro refere-se aqui à sequência de palavras voo para San Francisco. A sentença completa seria dada por:

"Tomarei o primeiro voo para San Francisco."

Há ocorrência de elipses também em sentenças coordenadas. Por exemplo:

"Dê-me os horários de voo para San Francisco e o número de lugares vagos na primeira classe."

Esta mensagem corresponde a duas ordens, onde a ordem dada na segunda sentença é a mesma da primeira:

"... e dê-me o número de lugares vagos na primeira classe."

A ocorrência de anáforas em sentenças acarreta novos problemas para a interpretação. É o caso da ambigüidade.

b.1.2) Ambigüidade

A ambigüidade em sentenças ocorre quando temos mais de um significado associado a uma única sentença. Esta diversidade pode ser provocada por:

A.) troca da categoria gramatical de uma palavra, caracterizando uma ambigüidade sintática que, na maioria das vezes, pode ser resolvida a nível de interpretação. Neste caso, é possível analisarmos a sentença de diversos modos, cada um produzindo uma árvore sintática distinta das demais e a análise semântica deve escolher a alternativa mais satisfatória, rejeitando todas as outras.

Por exemplo, a sentença

"João viu um homem no parque com um telescópio."

possui duas interpretações, pois podemos associar a idéia de que o telescópio está em mãos de João ou do homem que João viu. Em qualquer uma das alternativas há a modificação de constituintes da sentença, ora introduzida como modificação da frase como um todo, ora introduzida como modificação no nome homem.

Vemos, portanto, que é possível haver mais de uma interpretação para a sentença acima, o que caracteriza a ocorrência da ambigüidade.

É preciso notar que somente será possível selecionar o sentido correto para a ambigüidade introduzida pelo sintagma preposicional "com um telescópio" se tivermos algum conhecimento da situação.

B.) utilização de pronomes que podem referir-se a mais de um constituinte na frase. Como exemplo, tomemos o caso da anáfora na sentença:

"Márcio cortou o salame com um facão e colocou-o no sanduíche."

Já vimos que este pronome irá se referir à palavra salame. Porém, há outra possibilidade de correspondência deste com a palavra facão. Assim, teremos também duas árvores sintáticas distintas, que traduzem a validade sintática tanto num quanto noutro caso. A nível de viabilidade também verificaremos a validade das duas, pois é possível que Márcio coloque um facão no sanduíche. Porém, esta atitude não é razoável e somente consegui-

mos descobrir isto porque possuímos conhecimento anterior sobre o que é usual se colocar em sanduiche, a que se destina um sanduiche, etc..

Uma das maneiras de se procurar resolver ambigüidade introduzida por pronomes é fazer com que o gênero e/ou o número associado a ele ocorra somente uma vez com relação aos nomes constituintes da sentença. Isto nem sempre é possível, como é o caso do exemplo acima, onde temos dois substantivos com mesmo gênero e aí reside o maior problema.

Como a ambigüidade sempre envolve diferentes maneiras de se analisar sentenças, ao resolvê-la teremos uma única estrutura válida como resultado da análise e, com certeza, será preciso rejeitar as demais. Isto requer um mecanismo de retrocesso na análise, que caracteriza o não determinismo como um novo problema que deve ser tratado no processo de comunicação.

b.1.3) Não determinismo

O não determinismo envolve tomar decisões quanto à regra gramatical que será aplicada para analisar parte de uma sentença antes que se tenha uma quantidade suficiente de informações para efetuar uma escolha segura. Esta escolha é feita com base em algum critério que torna a regra escolhida a mais provável dentre todas as possíveis naquele momento.

Há sentenças da linguagem que caracterizam problemas não determinísticos por não poderem ser interpretadas de outro modo que não seja através de um método não determinístico. Problemas desse tipo são resolvidos somente quando se "olha para

a frente" na sentença, ou seja, quando se analisa símbolos através da aplicação de regras que foram escolhidas sem se assegurar a sua validade para a interpretação, até chegar a um ponto onde o relacionamento entre esses símbolos possa ser verificado conceitualmente. É o caso do exemplo dado pela sentença

"Como o pão que acabou de sair do forno estava muito quente, queimei minha língua."

Aqui a escolha mais provável para sua análise pode ser a de uma regra que reconheça a elipse do sujeito (eu) e considere o início da frase como o início de um sintagma verbal, cujo constituinte principal é a palavra como. Porém, este sintagma termina com a palavra forno, e logo descobrimos que a ocorrência de um outro verbo (estava) colide com a existência do sintagma verbal já analisado. Neste caso é possível que o conjunto inicial de elementos represente uma categoria gramatical distinta da categoria sintagma verbal (vemos que semanticamente este grupo gramatical representa uma justificativa).

A interpretação dessa sentença é estritamente não determinística, pois não conseguimos achar regras que sejam capazes de analisá-la corretamente de modo determinístico. Somente vamos descobrir que o caminho de análise escolhido não é conveniente ao encontrarmos uma seqüencialização na cadeia de itens léxicos quando esperamos que ela tenha terminado.

Podemos encontrar muitos problemas desse tipo no linguajar diário. Para resolvê-los somente possuímos métodos não determinísticos, que permitem que haja um retrocesso sobre a análise efetuada, anulando todas as estruturas geradas a partir

do ponto de escolha da regra que gerou o conflito. Assim, outra alternativa de análise é procurada. Retrocessos desse tipo podem ser feitos até que se encontre uma alternativa de aplicação de regras sintáticas que reconheça a sentença como válida ou até que não haja mais possibilidade de retroceder, situação em que a sentença será agramatical.

Embora alguns autores formulem hipóteses de que as construções gramaticais na linguagem natural são determinísticas, sabemos que há construções lingüísticas que exigem fundamentalmente o não determinismo para seu tratamento. É o caso da ambigüidade do exemplo acima e de um modo geral, de algumas construções que caracterizam representações múltiplas que ocorrem na linguagem.

b.1.4) Representações múltiplas

No processo de comunicação permite-se lançar mão de representações distintas em duas situações básicas:

- quando se utiliza uma única construção gramatical que pode ser associada a significados distintos. Neste caso, há multiplicidade de interpretações, caracterizando a ambigüidade, tema já discutido anteriormente.
- quando se utiliza várias construções gramaticais para representar um único significado. Neste caso, temos multiplicidade gramatical, caracterizando a ocorrência de parafrases. (são várias formas de se dizer a mesma coisa).

Por exemplo, as sentenças:

"João empurrou a mesa em direção à porta."

e

"A mesa foi empurrada por João em direção à porta",

transmitem uma única idéia: a de mudança de posição da mesa, causada por uma ação de João.

O entendimento de paráfrases na comunicação serve de medida do conhecimento lingüístico do falante/ouvinte. É possível que este não compreenda paráfrases de sentenças cujo significado ele conheça bem. Em termos gramaticais, dizemos que esta situação se reflete pela ausência de regras sintáticas e/ou semânticas que sejam capazes de reconhecer construções distintas com significados idênticos.

Podemos ainda citar como um problema lingüístico de representação múltipla a ocorrência de metáforas. Embora esse tipo de construção não se assemelhe aos anteriores, pois aqui sentenças distintas possuem significados distintos, sua ocorrência no processo de comunicação configura a transferência dos conceitos atribuídos a determinado constituinte para contextos análogos. Por exemplo, a sentença

"Pedro é o homem chave da empresa."

possui um significado que associa à palavra chave o conceito de fundamental e pode ser entendida como

"Pedro é o homem fundamental da empresa."

b.1.5) Extraposição

O fenômeno da extraposição na linguagem diz respeito à construção de uma sentença onde um de seus constituintes nominais é substituído por outro constituinte (em geral, um pronome relativo). A ocorrência de pronomes relativos introduz a existência de frases relativas que, na realidade, qualificam e restringem os sintagmas nominais aos quais se relacionam.

A extraposição ocorre quando se desloca um sintagma nominal que deve figurar na frase restritiva da sentença. Vamos falar da extraposição esquerda de um constituinte, o qual é chamado elemento extraposto à esquerda.

Uma possível formulação para uma sentença onde ocorre a extraposição é dada do seguinte modo: uma sentença pode ser formada por um sintagma nominal, seguido de uma qualificação, seguido de um sintagma verbal. Como a qualificação restringe somente o sintagma nominal, vamos dizer que a sentença é formada por um sintagma nominal seguido de um sintagma verbal e vamos restringir a qualificação à construção do sintagma nominal propriamente dito. Assim, dada a representação de construção de uma sentença:

S ---> sn,sv.

onde S representa sentença,

sn representa sintagma nominal e

sv representa sintagma verbal,

vamos representar o sintagma nominal restrito pela seguinte expressão:

sn ---> determinante, nome, qualificação

que nos diz que um sintagma nominal pode ser constituído por um determinante, seguido por um nome, seguido por uma qualificação. Na extraposição, a qualificação se caracteriza por conter um pronome relativo como constituinte inicial, seguido por uma sentença onde um de seus constituintes é omitido. Este constituinte omitido é justamente o que está sendo substituído pelo pronome relativo que figura no início da qualificação e que foi extraposto à esquerda no sintagma nominal. Logo, pron-rel substituirá nome no sintagma nominal. Podemos utilizar a seguinte expressão para representar essa idéia:

qualificação ---> pron-rel, S' ,

onde S' agora deve "lembrar" que nome é o elemento extraposto. Exemplificando, tomemos a sentença

"Todo pato que gosta de milho nada." (*)

onde a extraposição esquerda é assinalada pelo pronome relativo que e corresponde ao nome pato.

Esta sentença possui um sintagma nominal.

sn: Todo pato que gosta de milho

e um sintagma verbal

sv: nada.

Assumindo a palavra Todo como um determinante, podemos dizer que o sintagma nominal possui um

determinante: Todo

seguido por um

nome: pato

que por sua vez, é seguido por uma restrição

qualificação: que gosta de milho.

A sentença S', que corresponde a

"gosta de milho",

possui agora um constituinte omitido (seu sujeito), mas assinalado como extraposto à esquerda pelo pronome relativo que. Podemos dizer que seu significado completo é, portanto:

"Todo pato gosta de milho."

Logo, a estrutura-chave da sentença (*) será a conjunção de duas interpretações, correspondentes às sentenças:

"Todo pato gosta de milho."

e

"Todo pato nada."

O tratamento semântico que deve ser dedicado a essa sentença e a sentenças que possuem extraposição de um modo geral, deve prever que o elemento que está sendo omitido (ou extraposto) é o mesmo em ambas as frases que constituem a sentença. Assim, o

pato que gosta de milho é o mesmo pato que nada na sentença acima.

É possível haver mais de um fenômeno de extraposição numa mesma sentença. Por exemplo:

"O cabelo da menina que sentou no banco que foi pintado pelo servente ficou manchado pela tinta que ainda estava fresca."

Neste caso, há ocorrência de três elementos extrapostos, todos eles determinados pelo pronome relativo que. Somente a nível semântico é possível determinar a que elemento se refere cada uma das frases que envolvem a extraposição. O ser humano consegue discriminar imediatamente que a frase:

"que foi pintado pelo servente"

refere-se ao banco e não ao cabelo da menina, embora sintaticamente fosse correto afirmar que:

"O cabelo da menina foi pintado pelo servente."

A determinação desse tipo de referência muitas vezes pode envolver problemas extra-lingüísticos.

b.2) Problemas extra-lingüísticos

A maior dificuldade do entendimento de sentenças em linguagem natural não é conhecer as regras sintáticas ou semânticas ou mesmo as palavras de um vocabulário que possam ser utilizadas na formulação das mesmas, mas sim estabelecer as intenções que ficam implícitas numa mensagem. Podemos dizer que o propósito geral de uma ação lingüística executada por um falante é alterar o estado mental do ouvinte através da contribuição para que ele adquira novos conhecimentos ou da alteração de seu humor ou ainda, através do estabelecimento de um novo objetivo para o ouvinte.

O significado literal de uma palavra ou mesmo de uma frase pode ser drasticamente alterado por um gesto ou um tom de voz, de acordo com as intenções do falante. Por outro lado, as expectativas do ouvinte fazem com que sejam criadas pressuposições ou mesmo implicações significativas que alteram o significado exato da sentença formulada pelo falante.

Sowa diz que é possível estabelecer um princípio de cooperação para gerenciar um diálogo, de acordo com quatro itens que servem de medida de desempenho no diálogo:

- a quantidade de informação envolvida: o falante deve dizer estritamente o necessário,
- a qualidade da informação envolvida: o falante deve expressar-se somente através de verdades,
- o relacionamento entre os constituintes da mensagem: que seja pertinente ao contexto e

- o modo como são emitidas as informações: as mensagens devem ser claras.

[Sowa-84]

Num modelo de diálogo supõe-se que os participantes possuem o objetivo comum de se fazer entender e entender o outro. Neste caso, suas mensagens obedeceriam o princípio de cooperação de Sowa. Porém, nos modelos reais a figura dos participantes é um pouco distinta desta figura cooperativa padrão. As pessoas podem não ter paciência para tentar formular sentenças perfeitas ou podem ainda querer tornar as mensagens obscuras propositalmente, para confundir o interlocutor.

Quando um diálogo desse tipo ocorre, tratamentos extra-lingüísticos se fazem necessários para que se consiga extrair o significado das sentenças envolvidas.

Esses tratamentos são feitos pelo ser humano de modo trivial, na maioria das vezes, pois a mente é versátil o bastante para ser capaz de estabelecer sentido em enunciados incompletos, relacionar entidades omitidas ou já mencionadas anteriormente numa sentença e assim por diante. Por exemplo, se considerarmos a frase:

"João continua a fumar.",

concluimos que:

João fumava antes.

e

João fuma atualmente.

Du ainda, se tivermos a frase:

"Que belo dia!"

dependendo do contexto seu sentido equivale a:

"Que tempo horrível"

ou a

"Que lindo dia!",

ou ainda, a

"Não temos muita coisa a dizer um ao outro..."

[Lopes-75]

O contexto determinante do sentido correto dependerá certamente dos fatores extra-lingüísticos que envolverão estado emocional, atitudes do falante, etc..

Podemos ver que alguns problemas lingüísticos têm como base a ocorrência de fenômenos extra-lingüísticos: anáforas, ambigüidade e mesmo metáforas exigem um tratamento contextual para que seja possível obter o significado correto.

Por exemplo, a frase:

"Carlos pegou uma pena de cinco anos."

pode ter interpretações diversas, tais como:

"Carlos achou uma pena de um pássaro de cinco anos de idade."

ou

"Carlos foi julgado culpado por um crime e deve pagar por ele na prisão durante cinco anos."

Sua interpretação correta exige conhecimento da situação para corresponder à verdade e excluir a outra interpretação.

1.2.3 - Conclusões

Há uma interdependência entre os três aspectos abordados quanto à linguagem. O tratamento léxico é responsável por garantir o conhecimento das palavras que são agrupadas em estruturas, às quais é possível se associar um significado. Logo, a sintaxe e a semântica dependerão da aquisição precisa desse vocabulário por parte do léxico.

No tocante à interpretação, a interdependência entre a sintaxe e semântica se acentua, pois as regras semânticas são delimitadoras das possibilidades de interpretação sugeridas pela sintaxe, eliminando certas construções sintáticas. Por exemplo, enquanto a sintaxe permite construções que definem que

Seres vivos podem Agir,

a semântica estabelece que isto nem sempre é verdade. Assim, sintaticamente correta é a sentença

"Elefantes podem voar."

mas semanticamente, dizemos que

"Elefantes não podem voar."

[Schank-75]

Ainda no processo de interpretação, a semântica deve fornecer significados alternativos para quando a interpretação mais provável sintaticamente violar uma regra semântica. Schank define esta situação tomando as regras semânticas como regras de preferência, que irão selecionar a melhor alternativa de relacionamento entre os constituintes de uma mensagem. Por exemplo, se tomarmos a sentença:

"João gosta de chocolate." (*)

podemos dizer que seu significado é

"João gosta de comer chocolate."

Porém, este significado dependerá do contexto. Se dissermos agora

"Ana gosta de milkshake de baunilha. João gosta de chocolate."

o significado da mesma sentença (*) corresponderá a

"João gosta de milkshake de chocolate."

que é profundamente distinto do significado anterior.

Interdependência existe tanto nesses aspectos como na ocorrência de fatores extra-lingüísticos: o estudo da linguagem não pode ser feito sem levar em consideração fatores como a intenção do falante ou as expectativas ou crenças que influenciam o entendimento do ouvinte.

Qualquer que seja o tipo de problema que surge na interpretação, podemos dizer que na maioria das vezes, o ser humano não recusa uma mensagem. Isto ocorre porque ele faz uso de

processos de tentativa na busca do significado correto. Somente quando sua interpretação inicial se mostrar insatisfatória ele tentará reanalisar a mensagem, lançando mão de procedimento não determinístico na busca da compreensão.

Finalmente, englobamos todos os aspectos da linguagem como inter-contribuintes na busca da compreensão.

1.3 - Aspectos da linguagem computacional

Uma vez que o objetivo de se simular uma linguagem natural no computador é permitir sua comunicação com o ser humano, concluímos que o ideal é fazer com que o comportamento do computador inclua procedimentos de resolução para todos os aspectos lingüísticos abordados no item anterior. Para isso, é preciso transformá-los em conhecimento algorítmico e computacional, que simule o comportamento inteligente do ser humano.

Assim, um sistema de processamento de linguagem natural deve ser dotado de habilidade para processar as mensagens sem recusar aquelas cujo significado se mostra inaceitável antes de esgotar todas as possibilidades de busca do significado correto e também sem impedir que tais mensagens sejam geradas.

É função da teoria semântica simular tais características no computador em conjunto com os demais processos envolvidos na comunicação. Para que esta teoria seja precisa, o computador deve conter todas as informações que um participante humano conteria num diálogo.

Logo, o problema de aquisição do conhecimento é crucial para um bom desempenho computacional. As informações que o computador deve conter podem ser escolhidas considerando-se o conhecimento que seu interlocutor possuir, de modo a manter o diálogo dentro dos limites razoáveis de compreensão. Desse modo, restringe-se o conhecimento do computador ao conhecimento de seu interlocutor.

As vezes com um conjunto pequeno de informações o ser humano consegue inferir novos conhecimentos, adicionando-os à sua

memória como novos fatos aprendidos.

Para que o computador se comporte de modo similar, é necessário fazer com que ele relacione talvez milhões de informações e que, a cada novo processo de interação, esse relacionamento seja passível de expansão.

Podemos considerar que a mente humana trabalha como se possuísse um número infinito de pequenos processadores capazes de fornecer quase que instantaneamente a resposta a determinada requisição, elaborando elos complexos entre os constituintes das mensagens. Procedimento análogo deve ser simulado pela máquina.

Vimos que são muitos os problemas lingüísticos que ocorrem no processo de comunicação, mas na maioria das vezes o ser humano consegue detectá-los. Para que o computador apresente comportamento semelhante faz-se necessário estabelecer ligações de compatibilidade ou de coerência entre os elementos de discurso. Essas ligações devem fornecer mecanismos de resolução dos problemas lingüísticos ou extra-lingüísticos citados no item anterior.

Levantados esses fatores, vemos que a representação lingüística no computador não é trivial se quisermos que ele realmente funcione como falante ou ouvinte num processo de diálogo. Para sintetizar a idéia dessa representação, transcrevemos o pensamento encontrado na obra de Feigenbaum e Feldman [Feigenbaum-63]:

"Conhecer mais do que é dito é uma característica do ser humano, presente na maioria dos comportamentos ditos inteligentes. Esta característica é necessária quando simulamos máqui-

nas para resolver problemas reais de recuperação de informação, tradução de linguagens e compreensão de mensagens. Ao tentar solucioná-los computacionalmente, estamos caminhando no sentido de aumentar a eficiência dos meios de armazenamento e de manipulação de informações, buscando também projetar máquinas inteligentes com capacidade limitada de memória."

1.4 - Aspectos abordados neste trabalho

1.4.1 - Aspecto léxico

Todas as palavras do vocabulário que podem ser usadas para se formular sentenças devem ser conhecidas pelo sistema, estando disponíveis no momento em que se iniciar a interação entre uma pessoa e o computador.

Há classes de palavras que podemos chamar de auxiliares (ou fechadas, como diria McCord), que não admitem novos membros com o crescimento da linguagem. É o caso dos artigos, pronomes e preposições, por exemplo. Há outra classe que chamamos de classe variável (ou aberta, segundo McCord), que inclui os verbos e os nomes do vocabulário. McCord chama-a de classe aberta pois num processo de comunicação natural, esta classe pode crescer com o conhecimento da linguagem.

No processo computacional, sua definição é considerada estática, embora possa haver implementações que permitam alterações, quer por exclusão ou por inclusão de palavras.

O conhecimento léxico do sistema ocorre pela declaração de cada palavra, seja ela pertencente a uma ou outra classe. As palavras da classe variável são declaradas em sua forma primitiva, isto é, para os nomes, sua forma independe do gênero e do número que podem ser usados como inflexões. Além do número, a forma de declaração dos verbos não considera sua conjugação (tempo e pessoa), ou seja, declaramos os verbos na sua forma infinitiva. Por exemplo, o sistema conhece a palavra autor, declarada como forma primitiva do nome autor. É possível utilizar as palavras autores, autora, autoras (que são inflexões da primi-

tiva) mediante transformações simples de gênero e número. Para os verbos, tratamento similar é realizado, levando-se em consideração a conjugação dos mesmos.

1.4.2 - Aspecto sintático

Este tratamento é baseado na teoria de Chomsky, com conotações gerativas e transformacionais [Chomsky-65].

As sentenças formuladas por um indivíduo como falante são analisadas por uma gramática simples que inicialmente foi formulada como uma gramática livre de contexto a nível sintático. Esta gramática produzirá uma expressão que representa o significado da sentença introduzida pelo falante e corresponde à estrutura-chave da mesma, quando obtida em conjunto com a análise semântica.

Para que este processo seja viável, as regras gramaticais são pré-declaradas através de uma Gramática de Cláusulas Definidas (GCDs), que é um formalismo lógico desenvolvido por Pereira e Warren como uma extensão das Gramáticas Livres de Contexto (GLCs) [Pereira-80].

De acordo com esse formalismo, a análise de uma sentença passa a ser a prova de que uma estrutura cujos constituintes se apresentam ordenados obedece as regras de formação impostas por condições ou axiomas da gramática.

1.4.3 - Aspecto semântico

Ao verificar a validade sintática de grupos de constituintes de uma sentença, a própria GCD se incumbe de analisá-los semanticamente. Assim, passo a passo é realizada uma verificação semântica que permitirá assegurar a continuidade do processo de análise ou a necessidade de se retroceder tentando encontrar uma alternativa mais provável de análise na busca da interpretação.

Basicamente a semântica das sentenças diz respeito ao relacionamento simples entre seus constituintes (verbo e sujeito, verbo e objeto, frase e complementos, etc.).

Algumas incursões são feitas no que diz respeito à semântica de preferências, pois são definidos os tipos de complementos que cada verbo pode possuir e o tipo de informação que decorre do uso de determinadas preposições.

A gramática compreende ainda o tratamento de extraposição através de sentenças relativas e procede em alguns casos, de modo a transformar constituintes que possam fornecer detalhes para a análise semântica.

A definição do vocabulário é voltada a esta fase da análise, pois nele se relaciona as características semânticas de cada palavra declarada como elemento pertencente à classe variável da gramática (nomes e verbos). Na realidade, esta definição corresponde ao léxico de uma gramática.

O sistema foi implementado em Prolog e por essa razão, é possível utilizar as GCDs de modo direto. O Prolog é responsável por permitir a escolha de regras no momento oportuno, mesmo

que não se tenha certeza se o caminho escolhido é ótimo e permite ainda que o retrocesso sobre determinada regra gramatical seja realizado de modo transparente. Esta atitude caracteriza o não determinismo no procedimento de análise e permite que sentenças não determinísticas sejam analisadas de modo direto.

Neste projeto não se faz verificação de concordância em gênero e número dos constituintes da sentença, ~~por razões de~~ simplificação, somente.

Não se faz ainda tratamento semântico de quaisquer outras construções complexas mencionadas anteriormente. Os problemas extra-lingüísticos também não são focalizados neste trabalho.

C A P I T U L O I I

ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL

2.1 - Introdução

Há vários tipos de sistemas de processamento de linguagem natural, dentre os quais podemos citar os de consulta a uma base de dados (sistema de pergunta/resposta), os geradores ou tradutores de textos e os interpretadores de histórias.

Vamos restringir nosso estudo aos sistemas de consulta a bases de dados. Desse modo, podemos dividi-los em módulos que executam tarefas específicas, tais como:

- Análise de sentenças
- Acesso ao conhecimento específico
- Geração de respostas
- Interação com o usuário

Dentre esses, destacamos os módulos de análise, de acesso à base de dados e de geração de respostas, cuja estrutura caracterizará um sistema de processamento de linguagem natural.

Primeiramente devemos estabelecer o grau de dependência de cada unidade com o assunto específico de que trata o sistema, pois é importante que os sistemas de linguagem natural sirvam de instrumentos de acesso a informações de qualquer espécie. Assim, o ideal é elaborar sistemas altamente portáteis. Porém, para que se assegure o máximo de naturalidade na interação, temos sempre alguns módulos responsáveis por gerenciar o conhecimento em si. Conseqüentemente, não são independentes do assunto e toda vez que

este for alterado, os módulos também serão. É possível dotar o sistema de ferramentas que auxiliem o usuário na inclusão do conhecimento. Este comportamento merece atenção especial pois a alteração indevida do assunto pode levar o sistema à não confiabilidade.

A tarefa de análise pode ser dividida em quatro fases distintas: léxica, sintática, semântica e pragmática. Os módulos de análise léxica e sintática podem ser independentes dos demais, se considerarmos que esta tarefa se realiza passo a passo, seqüencialmente. Assim, fazíamos, em primeiro lugar, a análise léxica e em seguida, a sintática. Obtida a estrutura sintática de representação da sentença, que pode ser correspondente à sua estrutura profunda, através de transformações semânticas é possível obter o significado correspondente à estrutura-chave da mesma.

A interação com o usuário pode ser feita considerando-se que o mesmo tem conhecimento sobre o que o sistema é capaz de responder, isto é, tanto computador quanto pessoa possuem um "registro de informações" comum que permite a ocorrência do diálogo. Entretanto, para facilitar o trabalho do usuário na formulação de sentenças, o sistema pode apresentar-lhe o vocabulário que conhece através do uso de cardápios. Os cardápios consistem de quadros interativos que mostram as palavras ao usuário e permitem que ele selecione aquelas de seu interesse para construir as mensagens.

Enquanto o usuário constrói uma sentença, o controle do sistema é inteiramente do módulo de interação. Quando ele termina de contruí-la, o controle passa ao módulo de análise, iniciando o

processo de compreensão. No cardápio há ainda alternativas de seleção que correspondem ao término das mensagens, que o usuário somente seleciona quando houver completado sua sentença. Ao adotarmos a solução de cardápios, teremos um módulo de interação semi-dependente do assunto, pois os cardápios elementares serão vinculados ao vocabulário permitido no diálogo. Entretanto, seu gerenciamento continua sendo independente do contexto. A função do módulo de interação é portanto, gerenciar o diálogo permitindo que as respostas do sistema sejam enviadas ao usuário de modo natural.

O módulo de geração de respostas e de acesso ao conhecimento, juntamente com as fases de análise semântica e pragmática, serão específicos do domínio em questão.

Veremos, a seguir, as características de cada módulo.

2.2 - Especificação dos módulos

Cada módulo é responsável por uma tarefa. Temos assim, quatro tarefas específicas:

2.2.1 - Análise de sentenças

Com o objetivo de compreender uma mensagem supomos que existe uma estrutura mínima, a sentença, à qual se pode atribuir um significado. Cada mensagem do usuário será composta por uma ou mais sentenças que devem sofrer um processo de transformação, englobando as fases de análise léxica, sintática e semântica a fim de decodificá-la. No processamento de linguagem natural cada sentença deve ser representada por uma estrutura que o sistema seja capaz de compreender e/ou manipular. Esta representação é obtida através da transformação da sentença, que corresponde à extração de seu significado.

Através do reconhecimento das construções sócio-linguísticas utilizadas na elaboração de sentenças é possível traduzi-las para uma representação única, independente das características da língua que serve de instrumento para veiculá-las, assegurando a integridade do significado e eliminando os artifícios comumente utilizados na comunicação. Essa estrutura foi denominada por nós de estrutura-chave.

Comentaremos a seguir cada fase da análise separadamente, tomando exemplos baseados na língua portuguesa, objeto de nosso trabalho, ressaltando porém que embora tratemos de nossa língua, não há distinção entre a maioria das línguas de origem indo-européia.

A. Análise léxica

A função da análise léxica é delimitar e separar as palavras de um texto através do agrupamento dos caracteres que o compõem. Essas palavras devem corresponder a entidades que possam ser reconhecidas pelo sistema como integrantes de sentenças em fases posteriores da análise. Por exemplo, na sentença:

"A cor do chapéu de Pedro é bege."

o analisador léxico consegue reconhecer oito palavras através da delimitação sugerida pelo espaço em branco entre elas e pelo ponto no final da sentença.

O resultado deste reconhecimento deve ser guardado numa estrutura conveniente para que o sistema consiga dar continuidade ao processo de compreensão. Para isso podemos utilizar uma lista de átomos na sintaxe Prolog, cada qual representando uma palavra. Logo, teremos:

['A', cor, do, chapéu, de, 'Pedro', é, bege, ' '].

E possível ainda que várias palavras representem uma única entidade. Por exemplo, "João Roberto" na sentença

"Qual a idade de João Roberto?"

representa um único indivíduo de nome João Roberto.

Neste caso, é função do analisador léxico agrupar as palavras de forma que elas representem a entidade conhecida, como um único item. Desse modo, a estrutura resultante para a sentença

acima será:

[['Qual', 'a', 'idade', 'de', 'João Roberto', '?']].

Para delimitar as palavras pode-se utilizar os sinais de pontuação usuais na língua em questão. Particularmente, na língua portuguesa podemos ter um item delimitado por espaços em branco ou ponto final, ponto de interrogação ou de exclamação. Os dois últimos sinais ocorrerão somente no final de sentença. O ponto final pode ocorrer, em alguns casos, no meio de uma sentença, representando uma abreviação, por exemplo. Se isto não ocorrer, ele aparecerá também somente ao fim da sentença.

Como a sentença é a estrutura mínima de um texto à qual se consegue atribuir um significado, o agrupamento de palavras pelo analisador léxico pode ser feito gerando estruturas que representam uma única sentença por vez. Logo, os sinais de pontuação que ocorrem no final de sentenças têm ainda a função de delimitar cada estrutura composta por vários itens léxicos. Estes sinais podem ser também reconhecidos como itens para que, mais tarde, os tipos da sentença sejam associados a ela, de modo a representar sua estrutura-chave.

Cada estrutura desse tipo deve ser submetida a outros processos de análise, o primeiro dos quais é a análise sintática.

B. Análise sintática

A função da análise sintática é estabelecer relacionamentos entre os itens léxicos fornecidos pela fase de análise anterior que, em conjunto, representam a sentença introduzida pelo usuário. Para isso, é preciso que se consiga extrair a informação principal e as secundárias da mesma, detectando seu núcleo e seus complementos através das regras gramaticais da língua em questão. Esta é uma das linhas de pensamento adotadas para o tratamento de sentenças com vistas à compreensão, onde primeiramente se extrai cada relacionamento para depois tratar da interpretação. Podemos ressaltar quanto a esse aspecto, os trabalhos de Noam Chomsky, que datam da década de 1950.

A aplicação das regras gramaticais pode ser interpretada como um conjunto de regras que se interligam, definindo um meio apropriado de se construir ou reconhecer sentenças válidas numa linguagem. Essa ligação pode apresentar-se estruturada em árvore, onde se estabelece a hierarquia de aplicação das regras. Neste caso, a árvore é chamada árvore sintática.

Para o reconhecimento de sentenças, duas estratégias podem ser adotadas e correspondem a percorrer a árvore de cima para baixo ou de baixo para cima, processos aos quais chamamos análise descendente ou ascendente, respectivamente. A análise descendente parte da raiz da árvore e decompondo cada nó, chega às folhas. Dizemos que este comportamento é dirigido pelas hipóteses, pois assumimos em cada estágio a validade da estrutura gramatical que o nó em questão representa.

Por exemplo, seja a regra

sentença $\rightarrow$ sn , sv.

que pode ser representada por uma árvore onde a raiz é um nó que corresponde à estrutura sentença, que por sua vez, possui duas estruturas como filhos (sn e sv):

Esta árvore somente representará uma seqüência de aplicação de regras para análise de sentenças quando todas as suas folhas forem elementos terminais da gramática. Na análise descendente assumimos a validade da estrutura representada pela raiz e tentamos provar que com essa hipótese verificamos a relação entre os itens léxicos, que correspondem às folhas.

A análise ascendente executa o processo inverso: em primeiro lugar, assume que os itens léxicos da sentença em análise constituem as folhas da árvore e em seguida tenta agrupá-los para reconhecer a estrutura representada pela raiz. Neste caso, o processo é dirigido pelos dados.

Como exemplo, tomemos a gramática livre de contexto (GLC) composta pelas seguintes regras de produção:

```
sentença --> sn , sv.  
sn --> nome_próprio.  
sv --> verb_trd , sn1.  
sn1 --> artigo , nome.  
artigo --> [a].  
nome --> [fruta].  
nome_próprio --> [Maria].  
verb_trd --> [buscou].
```

Esta notação tem a representação adotada por Pereira e Warren em [Pereira-80], com sentença representando a raiz da estrutura em árvore e cada elemento entre colchetes representando suas folhas, também chamadas nós terminais. Os nós que geram filhos são todos os que aparecem à esquerda da flecha (-->) nas regras de produção da gramática, inclusive a raiz, e são chamados nós não terminais.

Assim, o processo de análise será representado pela seguinte estrutura em árvore:

Se quisermos agora analisar sintaticamente a sentença já analisada lexicamente

['Maria',buscou,a,fruta]

aplicando as regras tanto num quanto noutro sentido, obteremos sucesso ao verificar que os itens lexicais que compõem a sentença correspondem às folhas e podem ser obtidos através da decomposição da raiz nas mesmas ou da composição das mesmas em estruturas mais gerais, que passo a passo levarão à raiz.

Como resultado da análise sintática de sentenças obtemos sua estrutura sintática, de modo explícito ou não. Como nosso objetivo é compreender as mensagens, o processo não se encerra aí. Assim, é interessante mantermos um resultado explícito dessa análise, que pode ser a própria estrutura em árvore. Este somente terá sentido caso a análise seja bem sucedida, isto é, só conseguiremos obter uma representação sintática de uma sentença se esta for válida de acordo com as regras gramaticais a ela aplicadas. Caso isso não ocorra, a tarefa do analisador sintático é rejeitar a sentença.

No exemplo acima, determinamos o vocabulário utilizado na aplicação das regras, ao qual damos o nome de vocabulário terminal, composto pelos valores correspondentes às folhas da árvore. De modo análogo, podemos definir estruturas intermediárias fixas nas regras gramaticais, por exemplo, no sistema Lifer encontramos regras do tipo:

sentença --> "o que" <sn1> "é" <sn2>

onde "o que" e "é" são elementos terminais fixos constituintes dessa regra que, para ser aplicada, deve reconhecê-los na sentença de entrada. Os elementos entre colchetes angulares são os não terminais da gramática correspondente, devendo ser substituídos pelo significado associado.

Vemos que a definição das regras gramaticais do exemplo acima permite somente a geração ou análise de uma única sentença, devido à fixação dos elementos terminais, que correspondem às folhas da árvore de análise. Uma vez que uma gramática voltada ao processamento de linguagem natural deve permitir a formulação de

várias sentenças, devemos procurar definições para os símbolos terminais que não restrinjam o domínio de ação.

A solução é definir regras de produção onde não se introduza tais símbolos, mas nas quais se defina o acesso a um dicionário, que conterá todas as informações necessárias com relação a cada terminal que possa constituir um item léxico em alguma construção gramatical. Desse modo, as folhas de uma árvore sintática corresponderão, na realidade, a ordens de acesso ao dicionário.

O entrelaçamento das regras gramaticais para análise de sentenças pode ser feito utilizando-se mecanismos distintos de GLCs, por exemplo, ATNs ou gramáticas sensíveis a contexto (GSCs). Na verdade, para o tratamento de linguagem natural seria necessário estabelecermos regras sensíveis a contexto. Porém, sabemos que a formalização total da linguagem não é possível. Uma das razões é o estreito relacionamento sócio-lingüístico, que fornece razões suficientes para abandonarmos a idéia de formalizar todos os elementos possíveis num processo de comunicação. Desse modo, não é incomum encontrarmos um tratamento analítico mesclado por regras livres e sensíveis a contexto.

As tarefas desempenhadas nesta fase são: relacionamento dos itens lexicais de uma mensagem, rejeição de mensagens, possíveis correções de erros e extração da estrutura sintática de sentenças, quando estas são validadas pela análise.

O dicionário de símbolos terminais conterá informações tais como:

- classificação morfológica das palavras : substantivo, verbo, adjetivo, etc.,
- gênero: masculino ou feminino,
- número: singular ou plural,
- conjugação: primeira, segunda, etc.,
- transitividade: verbo transitivo direto ou intransitivo, etc.
- etc..

Podemos trabalhar num modelo de dados relacional, onde o dicionário é acessado através da categoria sintática do terminal que se tenta reconhecer. Fazendo analogia com o exemplo anterior, aquelas regras podem ser representadas pelo seguinte conjunto:

```
sentença --> sn , sv.  
sn --> term(nome_próprio). (*)  
sv --> term(verb_trd) , sn1.  
sn1 --> term(artigo) , term(nome) ,  
term(adjetivo).
```

onde term corresponde ao procedimento responsável por acessar o dicionário através da categoria do terminal procurado. Por exemplo, tomemos as seguintes entradas no dicionário, representadas por relações:

verb_trd(buscar,regular,primconj,passado)

nome(fruta,fem,sing).

No buscar a categoria verb_trd durante a análise, queremos verificar se o item léxico em análise corresponde ao primeiro argumento da relação cujo predicado é verb_trd, permitindo que as demais informações sejam obtidas para utilização em fases posteriores da análise. Essas informações constituem, por enquanto, um rol de características léxicas do terminal correspondente.

No primeiro caso, as informações referem-se ao verbo buscar, no tempo passado, à sua regularidade e à sua classificação quanto à conjugação. No segundo caso, a relação possui informações que gerarão a verificação de concordância em gênero e número no contexto, identificadas por fem e sing, respectivamente, e o valor do elemento, no caso, fruta.

Neste estágio da análise, uma mensagem é rejeitada quando o sistema acessa o dicionário de palavras a fim de reconhecer a que tem em mãos e não consegue encontrá-la como primeiro argumento de nenhuma relação ali declarada. É possível que ele tente corrigi-la, porém, não encontra alternativa viável, isto é, realmente a palavra introduzida pelo usuário é estranha ao sistema. Como rejeição, sua resposta é então uma mensagem de não reconhecimento da palavra e o processo do diálogo volta ao nível elementar, isto é, o computador "esquece" o que acabou de ser transmitido e espera que o usuário retome a conversa ou dê a sessão por terminada.

Há situações em que, mesmo não encontrando a palavra procurada no dicionário, o sistema pode ser capaz de entender a sentença introduzida. É o caso da ocorrência de elipses numa sentença. Tomemos um exemplo onde a referência à entidade envolvida na elipse encontra-se na mesma sentença:

"Alice comprou uma blusa branca
e pintou-a com cores vivas." (I)

Constatamos aqui a ocorrência de dois tipos de elipse:

1.) a do sujeito da segunda frase, determinada pela conjunção e entre a primeira e a segunda frase e a ocorrência de somente um sintagma verbal na segunda frase. Preenchendo a lacuna correspondente, temos:

"Alice pintou-a com cores vivas."

2.) a do objeto na mesma frase, determinada pelo pronome pessoal do caso oblíquo a, como objeto direto do verbo pintar. Evidenciando-o, temos então a segunda frase sem ocorrência de elipses:

"Alice pintou a blusa branca
com cores vivas." (II)

A sentença (I) corresponde, portanto, à seguinte sentença:

"Alice comprou uma blusa branca e
Alice pintou a blusa branca com cores vivas." (III)

Para que seja possível reconhecer esta sentença, o sistema deve conter em seu dicionário a definição de todos os símbolos terminais e também a definição da regra

```
sv --> term(verb_trd), term(pron_pessoal).    (**)
```

adicionada ao conjunto de regras dado em (*).

Suponhamos que as entradas no dicionário, que nos interessam neste momento, sejam representadas por:

```
nome_próprio(Alice,fem,sing).
```

```
verb_trd(comprar,regular,primconj,passado).
```

```
verb_trd(pintar,regular,primconj,passado).
```

```
artigo(a,fem,sing).
```

```
nome(blusa,fem,sing).
```

```
adjetivo(branca,fem,sing).
```

```
pron_pessoal(a,fem,sing).
```

Ao tentar analisar o sintagma verbal na sentença (II), o sistema estará tentando construir os filhos do não terminal sv, em termos de sua árvore sintática. Assim, tomando especificamente esta sub-árvore no processo global, temos a seguinte representação:

e agora, para que a estrutura esteja completa, ou seja, para que a análise seja bem sucedida, o sistema deve também procurar completar a sub-árvore à direita do nó sv, uma vez que sua raiz, sn1, é um nó não terminal. E, ao tentar gerar os filhos desse nó, constata-se que o item léxico em análise não possui categoria correspondente ao primeiro terminal permitido pela regra sintática, pois deveríamos ter a sub-árvore

e, no entanto, temos somente o pronome pessoal a, que não corresponde ao artigo definido, na regra em questão. Porém, pela definição da regra (**), o sistema sabe que um elemento cuja categoria é pronome pessoal pode substituir um sintagma nominal que figura como complemento de um verbo transitivo direto. Deste modo, detecta-se a ocorrência da elipse: o problema agora é saber a quem se referencia este pronome. Em primeiro lugar, vamos então

procurar buscar na mesma sentença, nos elementos já analisados, um nome cujas características sejam similares às do pronome.

Através do reconhecimento do pronome como complemento do verbo na regra (**), temos informações adicionais de contexto, que são, no caso, o gênero (fem) e o número (sing). Logo, o nome procurado deve também possuir gênero feminino e estar no singular para que possa ocorrer a substituição. Acessando novamente o dicionário, conseguimos localizar o nome blusa com essas características. Como consequência, resolvemos o problema da elipse ao trazer este nome, com todas as suas qualificações (o adjetivo, no caso), para representar o complemento do verbo pintar. Isto é representado na sub-árvore (****) por:

onde as derivações das folhas não fazem parte da regra de derivação em questão, mas representam parte da configuração particular para a sentença (II).

Concluimos, com este exemplo, que a definição do nosso vocabulário como um dicionário relacional permite reconhecer elementos constituintes de uma sentença mesmo que sua construção possua figuras lingüísticas distintas da definição padrão. Este reconhecimento será feito, em primeiro lugar, pela categoria sintática definida na regra correspondente. Essa categoria se casará com o predicado de alguma relação no dicionário e será possível, em seguida, verificar se os termos dessa relação correspondem, de algum modo, ao item léxico que está sob análise. Se a correspondência se estabelecer com o primeiro termo da relação, recairemos no caso padrão, onde a sentença não possui construções lingüísticas do tipo anafórico. Caso contrário, teremos restrições semânticas já verificadas pelo contexto, que deverão corresponder a alguns ou a todos os termos restantes da relação. Se esta correspondência se verificar, teremos uma construção lingüística diversa da anterior (tal como a ocorrência de elipse no nosso exemplo), cujo item léxico provável de ocorrer corresponderá então ao primeiro termo de alguma relação sugerida pelo dicionário. Assim, a utilização de relações na definição do dicionário permitirá a busca de itens léxicos omitidos em sentenças, quando o contexto sugerir informações semânticas que, conjugadas às exigências sintáticas, permitam acessar as informações correspondentes.

Para o caso de palavras erradas introduzidas pelo usuário, se o sistema for dotado de mecanismos próprios para correção de erros, deve manter informações sobre possíveis alterações de uma palavra, de modo que, ao detectar uma palavra desconhecida na análise, assuma que ela foi escrita de modo

errado e procure alterá-la de acordo com essas informações. Para que esse processo seja possível, o sistema deve prever os tipos de alterações que podem ocorrer, numa palavra, tais como: substituição, inserção ou deleção de uma letra, ou reversão de duas letras. Se uma solução for encontrada na busca, teremos um novo item léxico que substituirá aquele errado na sentença em análise e o processo pode continuar. Caso contrário, o sistema deve rejeitar a mensagem do usuário, interrompendo a análise. Vimos que alguns sistemas adotam este procedimento, tentando tornar a interação real, pois no nosso processo de compreensão entendemos uma mensagem, mesmo que ela contenha algumas palavras com pequenos erros.

Como exemplo, suponhamos que o usuário introduziu um erro de digitação fazendo com que a palavra introduzida seja releito, desconhecida do sistema, e que tenhamos uma lista de palavras similares:

[imperfeito, perfeito, refeito, relido].

Podemos imaginar várias alternativas para a intenção do usuário. Se ele queria dizer:

a.) perfeito, houve:

a.1.) inserção da letra l: releito - podemos eliminá-la, obtendo reeito.

a.2.) reversão de duas letras: reeito - podemos trocá-las para suas posições corretas, obtendo ereito.

a.3.) deleção de duas letras - podemos inseri-las, obtendo perfeito.

b.) refeito, houve substituição da letra f por l: releito. Basta trocar l pela letra correta, obtendo refeito.

c.) relido, houve:

c.1.) inclusão de uma letra: releito. Eliminando-a, teremos a palavra relito.

c.2.) Substituição da letra d por t: relito. Trocando-a corretamente, teremos a palavra relido.

Cada alternativa visa produzir alguma palavra correta da lista de palavras similares à errada neste exemplo, na tentativa de "adivinhar" a intenção do usuário. Poderíamos utilizar parâmetros que medissem a alternativa de correção mais provável, por exemplo, aquela que exige menos esforço. No caso, a alternativa (b). Assim, refeito seria assumida como a palavra correta que substituiria a introduzida pelo usuário e o processo continuaria com o novo item léxico, dando continuidade à análise. Garantindo que cada lista de palavras contenha somente alternativas conhecidas pelo sistema, é possível que a análise seja bem sucedida.

Para ocorrência de erros de digitação podemos notar que é possível permitir verificações diversas, porém, há muitas absurdas. Assim, somente deve permitir-se correções de erros que ocorram freqüentemente, pois não tem sentido fazer com que o sistema trabalhe desnecessariamente.

Num processo interativo, é possível também permitir que o próprio usuário corrija a palavra errada. Sua resposta será prontamente assimilada e o processo continuará normalmente. Por

exemplo, no caso anterior o sistema poderia fornecer as três alternativas de correção que ele computasse como mais prováveis: perfeito, refeito e relido. O usuário teria que optar por uma delas.

Dando uma visão do tratamento efetuado para o reconhecimento dos símbolos terminais estamos, na realidade, retrocedendo à fase de análise léxica, pois as alterações nos itens sob análise mencionadas aqui são puramente léxicas, ou de reescrita de uma palavra, sem que isso influencie de imediato o relacionamento entre as demais expressões lingüísticas da sentença. Por que então não tratamos disso a nível de análise léxica? - poderíamos perguntar.

Acontece que nessa fase não geramos expectativas de relacionamento entre os elementos constituintes da frase, tampouco chegamos a determiná-los como terminais gerados pela aplicação de regras gramaticais. A análise léxica é independente das regras gramaticais. Assim, ao tentarmos qualquer procedimento de recuperação de informação para dar continuidade ao processo sintático estamos mesclando os dois tipos de análise até agora mencionados.

Tomemos o seguinte exemplo:

"Maria buscou a fruta que caiu da árvore." (I)

Temos aqui uma informação principal - "Maria buscou a fruta" - que é restrita à informação secundária - "que caiu da árvore."

Podemos dizer que "Maria buscou a fruta" é uma sentença (1), restrita por uma sentença (2): "A fruta caiu da árvore".

Na sentença (1) temos uma relação de busca entre Maria e a fruta, que podemos traduzir por

```
buscar( [verb-trd,tercpess,sing,pass],  
        [sujeito,Maria,sing,fem,nome-próprio], (II)  
        [obj-dir,fruta,sing,fem,nome-comum])
```

Fazendo analogia com a lógica de primeira ordem, buscar é um funtor de peso três que corresponde ao verbo com seus atributos agrupados no primeiro termo; o segundo e o terceiro termo correspondem a seus modificadores.

Assim, o verbo tem como atributos:

- predicação - verb-trd - de verbo transitivo direto,
- pessoa - tercpess - de terceira pessoa (buscou),
- número - sing - de singular,
- tempo - pass - de passado,

que poderiam ser obtidos pelo sistema em tempo de reconhecimento de itens léxicos, se tivéssemos acesso ao vocabulário terminal.

O segundo e o terceiro termos são caracterizados por uma lista de cinco elementos, que correspondem, respectivamente, a:

- classificação sintática - sujeito ou objeto direto,
- valor do elemento na frase - Maria ou fruta,
- número - singular em ambos os casos,
- gênero - feminino, também em ambos os casos,
- classificação morfológica - nome próprio ou nome comum.

As informações quanto à classe sintática são obtidas nesta fase da análise. As demais poderiam ser obtidas na fase anterior, porém, somente no reconhecimento sintático é possível acessar o dicionário que contém todas elas.

De modo análogo, podemos representar a sentença (2) por

```
cair ( [lv-intr,tercpess,sing,pass] ,  
                                             (III)  
      [sujeito,fruta,sing,fem,nome-comum],  
      [compl-verbal,árvore,sing,fem,nome-comum,lugar])
```

Conjugando as expressões (II) e (III) teremos o resultado da análise sintática da sentença (I), numa forma de representação interna voltada ao estabelecimento dos conceitos extraídos da mensagem introduzida pelo usuário, que poderia ser, por exemplo:

```
buscar( [verb-trd,tercpess,sing,pass],[sujeito,Maria,sing,fem,  
      nome-próprio],[obj-dir,fruta,sing,fem,nome-comum])
```

e

```
cair([lv-intr,tercpess,sing,pass],[sujeito,fruta,sing,fem,  
      nome-comum],[compl-verbal,árvore,sing,fem,nome-comum,lugar])
```

As informações morfológicas são necessárias pois distinguem o tipo de entidade que o sistema está manuseando. Neste exemplo, temos duas entidades de caráter distinto - nome próprio e nome comum, ambas representando a mesma classe de palavras - substantivo.

Ainda, neste exemplo, como na maioria das sentenças formuladas por um indivíduo em sua língua mãe, encontramos referência dupla a uma mesma entidade - fruta - introduzida pelo

pronome relativo. O sistema deve ser capaz de tratar esse tipo de relacionamento, assegurando que a fruta que Maria buscou seja a mesma fruta que caiu da árvore, do mesmo modo que o faz a mente humana.

Este tratamento é realizado também nesta fase da análise, desde que as regras gramaticais sejam construídas de modo a permitir a ocorrência desse fenômeno, chamado extraposição, que representa a substituição de um elemento numa relativa por um pronome relativo. Dizemos que este item léxico foi extraposto à esquerda pelo pronome relativo que, reconhecendo fruta como um objeto único na mesma, que funciona como complemento verbal na sentença (1) e como sujeito na sentença (2). Assim, ao extrair o significado, teremos uma referência dupla a uma mesma entidade.

No processo de análise sintática relacionamos os itens léxicos constituintes de uma sentença. Com o exemplo de elipses, vemos que este relacionamento é fortemente dependente do contexto, uma vez que a substituição envolve itens específicos, que devem produzir significado coerente para a sentença. Se não levarmos em consideração esse fator, poderemos terminar o processo de análise sintática com uma estrutura supostamente válida, que não representará a sentença original e que, quando submetida aos processos restantes, será recusada.

Para minimizar os efeitos negativos na tentativa de se obter a estrutura e procurar fazer com que o esforço para sua obtenção não seja desnecessário, é possível introduzirmos a análise semântica entre os itens já nesta fase de análise sintática.

C. Análise semântica

Esta fase de análise é responsável por relacionar os itens léxicos legítimos na sentença às expressões por eles denominadas, de acordo com o conhecimento do sistema. Vamos interpretar esse relacionamento no sentido de denotação, onde as palavras significativas são aquelas cujo nome já carrega a informação do seu significado.

Na verdade a operação desta não é independente nem disjunta das demais fases de análise. Podemos dizer que ao reconhecer um item léxico como um terminal válido na gramática conseguimos imediatamente fazer uma correspondência com sua denotação. Assim, análise sintática e semântica trabalham em conjunto, de modo que ao fim do processo, a estrutura resultante represente a interpretação sintático-semântica da sentença de entrada.

Como exemplo, citemos a frase:

"Qual é a idade de João?"

A caracterização dessa consulta como uma sentença interrogativa é determinada pelo pronome Qual e pela interrogação que a finaliza. Através da análise semântica, associamos ao pronome a idéia de que se procura um certo número de objetos que satisfaça a especificação da mensagem.

Ainda, obtemos outros relacionamentos semânticos dados por exemplo pela preposição de. Cada preposição introduzida numa sentença relaciona entidades. Conseqüentemente, terá uma ação semântica associada. Neste caso, reconhecemos idade como um atributo de um indivíduo de nome João, restringindo seu valor ao

campo dos números inteiros. Através da mesma, poderíamos representar essa associação de idéias pela seguinte expressão:

```
eh ([possuidor, individuo(joão), masc, sing, nome-próprio],  
    [possuido, idade, fem, sing, nome-abstrato, restr-idade])
```

que, em termos de requisição, traduziríamos, por exemplo, como:

busque-idade(X) tal que

```
eh ([possuidor, individuo(joão), masc, sing, nome-próprio],  
    [possuido, idade(X), fem, sing, nome-abstrato, restr-idade(X)])
```

onde restr-idade(X) seria um procedimento semântico responsável por verificar a restrição do valor de X - inteiro, no caso.

A nomeação da entidade João como individuo também constitui ação semântica. Suponha que temos um robô de nome João. Suas características certamente são profundamente distintas das características do individuo João. Se quisermos evitar ambigüidades deveremos optar por uma das interpretações, adotando as correspondentes ações semânticas. Assim, qualquer opção representará uma ação específica para a entidade João, seja ela um individuo ou um robô.

Podemos introduzir ainda o intervalo de variação da variável X, por exemplo, $0 \leq X \leq 90$, como uma restrição de caráter mais profundo. O que isso significa, então? - Que estamos tentando introduzir um mapeamento do mundo em que vivemos. Neste caso particular, como a média normal de vida de um individuo não ultrapassa os 90 anos, estabelecemos um domínio permitido de

variação para o foco de nossa pergunta que é a entidade idade, como modificadora de um objeto do domínio dos seres humanos - no caso, um indivíduo de nome João.

Com isso, procuramos refletir o conjunto de idéias que possuímos em relação a essa entidade. Isso somente é possível devido ao conhecimento do mundo em que vivemos.

A medida em que esse conhecimento incorpora o cotidiano, dizemos que é inerente à entidade, fazendo parte do conjunto que a denota. Porém, se o conhecimento associado a uma entidade depender fundamentalmente do uso que dela fazemos não podemos dizer que ele faz parte de suas possíveis denotações, pois estaremos atribuindo a ela determinada conotação muito dependente do contexto e, conseqüentemente, do próprio uso.

Dizemos que a semântica é a própria denotação, pois relaciona os objetos às entidades às quais estes se referem.

Por exemplo, seja a palavra cão, denotada como um substantivo masculino, singular, referente a um mamífero da ordem dos carnívoros [Ferreira-75]. Se associarmos a ela o verbo ler, na terceira pessoa do singular, produzindo a sentença

"O cão lê."

esta será léxica e sintaticamente correta e podemos traduzi-la, por exemplo, por:

```
ler ([verb-trd,tercpess,sing,presente],  
    [sujeito,cão,sing,masc,nome-comum,animal],  
    [objeto,opcional]).
```

Introduzindo a semântica, podemos dizer que a idéia extraída da sentença é atribuir a propriedade de ser capaz de ler à raça animal classificada pelo nome comum cão:

propriedade(leitura,[raça-animal,cães]).

Para isso, faz-se necessário verificar a validade dessa idéia. Por exemplo, estabelecendo a seguinte regra:

propriedade(leitura,[raça-animal,cães],Val)

se

(I)

possível(cães,ler,Val)

Se conseguirmos provar que os cães podem ler através da verificação da condição possível, teremos o valor verdadeiro para o argumento Val. Caso contrário, seu valor será falso.

Como, no sentido usual de nossa vivência, não é possível que um cão leia, pois o sentido que damos à palavra cão é caracterizado por um traço não humano e o traço associado ao verbo ler é um traço humano, estaremos introduzindo uma interpretação não permitida com relação a esse animal. Isso será representado no nosso exemplo pelo estabelecimento do fato semântico:

possível (cães,ler,falso).

ou

possível(não-humano,ler,falso),

conjugado a um outro fato que explicita que cão é um ser não-humano.

Porém, se imaginássemos estar trabalhando num outro mundo, onde os animais falam e pensam como os seres humanos, estabeleceríamos como razão o fato

possível (cães, ler, verdadeiro).

Com estas considerações, estamos estabelecendo vínculos entre os elementos da sentença que não são sintáticos.

Resta-nos comentar por quê de todas essas considerações: se a extração do significado da sentença "O cão lê", for a estrutura

"propriedade(leitura,[raça-animal,cães],Val)"

e utilizando a expressão (I) obtivermos um valor verdadeiro para a variável dependente do domínio de discurso Val, poderemos aceitar este significado como sendo válido. Caso contrário, este não será permitido.

No primeiro caso, o reflexo da aceitação pode ser por exemplo, o aprendizado de uma nova informação pelo sistema, traduzido como a atribuição de uma propriedade - poder de leitura - a uma entidade - raça animal de nome cães.

No segundo caso, sua rejeição dever-se-á ao fato de haver uma falta de sentido prático nessa mensagem ou, dizendo de outra forma, de havermos estabelecido o absurdo, pois cães não podem ler.

Embora este exemplo seja elementar, não é difícil compreender que ocorrências desse tipo no processo de comunicação são muito freqüentes. Assim, o estudo referente a essas considerações se faz necessário se quisermos simular o processo de comunicação de modo natural.

Basicamente, o que queremos mostrar é o campo de ação da análise semântica, que tem a incumbência de relacionar as expressões aos itens aos quais as mesmas se referem.

Podemos dizer que no tratamento de linguagem natural a semântica terá papel direto ao manusearmos verbos e/ou preposições, pois os verbos ligam elementos - aqueles que funcionam como sujeito, objeto ou complemento verbal - e as preposições ligam nomes. Logo, em toda sentença teremos no mínimo uma ação semântica: a verificação da possibilidade de se utilizar os complementos do verbo principal. Já nas sentenças onde ocorrem sintagmas preposicionais deve haver ainda a verificação do relacionamento entre os itens através da preposição em questão.

Podemos representar essas condições pelas seguintes regras livres de contexto:

(1) sentença(S) --> sn(S1,Nome), sv(Nome,S2,Verbo),
{junte(S2,S1,S)}.

(2) sv(Nome,S,Verbo) --> verbo_trd(Verbo), sn(S1,Nome1),
{possivel(Nome,Verbo,Nome1,objeto),
junte(S1,Verbo,S)}.

(3) sn(S,Nome) --> artigo(A), nome(Nome,S1), sp(Nome,P,S2),
{junte(S2,S1,S)}.

```
(4) sp(Nome,Prep,S) --> prep(Prep), sn(S1,Nome1),
    {possivel(Nome,Nome1,Prep,Lig),
     junte(Lig,S1,S)}.
```

Estamos usando a notação de GCDs de Pereira. Assim, tudo o que ocorre entre chaves são condições executáveis pelo Prolog de Edimburgo.

Em (1), reconhecemos um sintagma nominal onde o núcleo é Nome, que deve ser sujeito da sentença. O verbo é o núcleo de um sintagma verbal, nomeado pela variável Verbo, transitivo direto, cujo objeto é dado por Nome1 em (2). A ação semântica corresponde à verificação da validade do relacionamento de Nome com Nome1 através do verbo Verbo, dada pela verificação da condição `possivel(Nome,Verbo,Nome1,objeto)` em (2). Caso seja válido, é possível obter a representação S do sintagma verbal na mesma regra.

Para o caso de preposições, será caracterizado um sintagma preposicional no reconhecimento de um sintagma nominal, pois preposições, neste caso, ligam nomes. Assim, como vemos em (3), um sintagma nominal pode conter preposições, caracterizando o sintagma preposicional. Para verificar se este é válido naquele contexto, é necessário utilizar a ação semântica em (4), que verifica a possibilidade de ocorrerem dois nomes - Nome e Nome1 - ligados pela preposição Prep. Isto é verificado através da condição `possivel(Nome,Nome1,Prep,Lig)`. Em caso afirmativo, seu relacionamento será dado pelo parâmetro Lig que, na verdade, deve corresponder a uma informação adicional a constar da estrutura final que representará o conhecimento.

Não é fácil distinguirmos o relacionamento semântico do pragmático. Chamaremos de semântica as relações estabelecidas com o auxílio de informações contidas num dicionário da língua em uso. A uma palavra podemos associar inúmeros significados. Porém, num determinado contexto devemos escolher somente um deles para que não ocorram interpretações dúbias quanto ao sentido pretendido. A busca desse significado particular corresponderá à pragmática. Este significado será atribuído à palavra no instante em que dela se faz uso.

D. Análise pragmática

Todo diálogo entre dois seres humanos é norteado pela existência de senso comum. Se não houver este fator, não haverá diálogo, mas um emaranhado de frases desconexas. A interação somente é possível à medida em que a resposta dos participantes é direcionada pela compreensão. Se houver entendimento, haverá resposta coerente.

Para que exista compreensão numa interação entre o homem e o computador, as exigências são exatamente as mesmas: é preciso que o indivíduo limite seus conhecimentos ao conhecimento embutido num sistema computacional. Este deve ser capaz de compreender as sentenças formuladas e responder também de modo que o indivíduo consiga entender.

Para simular esse comportamento, deve existir um canal de comunicação que aceite uma única estrutura representativa do significado de sentenças, resultante ora da interpretação de mensagens formuladas pelo indivíduo, ora da interpretação de mensagens enviadas pela máquina. A análise pragmática se restringe à busca de informações que permitam manter a interação dentro dos limites de compreensão de ambas as partes. Assim, corresponde ao acesso a informações de senso comum, que são usadas para completar o significado, representado por estruturas cuja formação é direcionada pelo esforço disseminado entre análise léxica, sintática, semântica e pragmática.

Observamos que não há um consenso quanto ao modo de executar a tarefa de análise de sentenças num computador.

Há alguns sistemas em linguagem natural que submetem as mensagens a uma pré-análise, que nada mais é do que a análise léxica de cada palavra constituinte das mesmas, submetendo o resultado à análise sintática e, posteriormente, à análise semântica e pragmática. Há outros que consideram a análise léxica e sintática como um único processo, cujo resultado é uma representação sintática da mensagem. Só então é que esta representação será analisada conceitualmente (semântica e pragmaticamente).

Há outros ainda que permitem que o processo de análise seja assimilado como um todo, onde semântica e pragmática trabalham independentemente e em paralelo com as demais fases, gerando expectativas e compreensão mesmo antes da mensagem findar. Esse comportamento permite que uma mensagem seja rejeitada assim que se chegar à conclusão de que não há sentido entre os elementos já analisados, otimizando o processo de análise. Porém, com este comportamento perde-se informações devido ao trabalho independente entre os analisadores conceituais.

Pode-se notar uma característica geral nas arquiteturas atuais dos sistemas de linguagem natural: a tentativa de formalização do diálogo, que permita a busca do conhecimento embutido no sistema através da aplicação direta de técnicas computacionais que visam a interação. No entanto, como citamos inicialmente, o surgimento do processamento de linguagem natural se deve à tentativa de fazer com que a linguagem de interação não precise mais ser formalizada, permitindo que um sistema assuma características "inteligentes". Embora este seja o objetivo real do processamento de linguagem natural, não é possível simular o comportamento inteligente sem manusear estruturas extraídas segundo algum

critério e por menos rigoroso que este seja, não deixa de ser uma formalização no processo de reconhecimento das sentenças. Logo, torna-se impossível abranger todos os aspectos da linguagem natural no tratamento computacional atual.

2.2.2 - Geração de respostas

Este módulo tem como objetivo buscar informações de conhecimento específico na base de dados a fim de elaborar a resposta ao usuário, num sistema de consulta. Como ponto de partida, recebe a estrutura representativa do significado extraída no processo de análise, que pode ser representada como uma estrutura formal da lógica de primeira ordem por exemplo. De algum modo, o sistema deve transformar essas estruturas em condições de acesso à base de dados, que uma vez verificadas, fornecem respostas às requisições do usuário.

É necessário assim haver um elo de comunicação entre a interpretação da mensagem do usuário e a informação contida na base de dados, através da qual se conseguirá atingir o objetivo de satisfazer a requisição, gerando uma resposta correspondente. Uma vez estabelecido esse elo e obtidas as informações de resposta, o sistema deve fornecê-las de modo natural ao usuário como se fosse um segundo interlocutor. Para isso, ele deve transformá-las, gerando também sentenças naturais.

É possível fazer com que a mesma gramática de análise funcione como geradora de mensagens. De um modo geral, porém, este não é o procedimento adotado pelos sistemas de processamento de linguagem natural, talvez porque haja muitos problemas complexos a resolver ainda em termos de análise aplicada à linguagem natural.

É comum verificarmos que como geração de respostas naturais, o procedimento adotado é uma pseudo-geração de sentenças na própria língua, em geral com base em reconhecimento de

padrões, utilizando as respostas já obtidas no acesso à base de dados, que podem ser armazenadas em conjuntos. Esses conjuntos podem ser vazios, unitários ou possuir vários elementos, dependendo do número de valores encontrados na base de dados que satisfaçam a requisição, traduzindo então a veracidade ou não de determinada informação.

Vejamos o modo como esse tratamento poderia ser feito, incluindo alguns exemplos já citados, onde podemos supor as correspondentes alternativas de resposta:

a.) Para conjuntos de resposta vazios - Basta gerar uma resposta que exprima a não observância da requisição. Logo, para:

a.1.) "Qual a idade de João?"

Resposta1: "Não sei."

ou

Resposta2: "Não possuo elementos suficientes para responder-lhe."

a.2.) "Maria comeu a fruta?"

Resposta: "Não sei."

Observamos que este tipo de resposta é sempre de caráter geral, permitindo que seja definida exatamente para determinada configuração da resposta obtida no acesso à base de dados, porém abrangendo vários tipos de pergunta.

b.) Para conjuntos de resposta unitários - Basta responder com o próprio valor do elemento do conjunto - em geral, este é o caso de perguntas do tipo qual, quem, onde, etc., como (b.1.) ou (b.2.) - ou com uma negação ou afirmação (respostas do tipo Sim/Não) que, em geral, confirmam perguntas ou declarações como (b.3.), (b.4.) ou (b.5.):

b.1.) "Onde fica o Museu do Ipiranga?"

Resposta: "Em São Paulo."

b.2.) "Qual a idade de João?"

Resposta: "34 anos."

b.3.) "O cão lê."

Resposta1: "É impossível que tal propriedade seja atribuída a um cão."

ou

Resposta2: "Penso que seria necessário você reavaliar sua declaração."

ou

Resposta3: "No meu entender um cão não possui a propriedade de leitura."

b.4.) "Maria buscou a fruta que caiu da árvore."

Resposta1: "Informação recebida."

ou

Resposta2: "Ok."

b.5.) "Maria comeu a fruta?"

Resposta1: "Sim."

ou

Resposta2: "Não."

c.) Para conjuntos de resposta com vários elementos - Basta enumerá-los, conjugando-os de acordo com o tipo da requisição. Por exemplo:

c.1.) "Quais as frutas que Maria comeu?"

Resposta: "Maçã, pera e figo."

c.2.) "Quais são as cores preferidas?"

Resposta: "Azul ou amarelo."

Constatamos que o tratamento dado à formulação de respostas, similar ao dos exemplos, é elementar e pode ser realizado de modo informal na maioria das vezes. Encontramos sistemas que produzem sentenças mais complexas como resposta, mas sempre seguindo uma certa padronização, como em (b.3.).

Desse modo, mantém-se um comportamento determinístico no tratamento das respostas. O ideal seria permitir que tal não ocorresse de modo que se produzisse paráfrases de sentenças, inclusive. Isso seria conseguido se realmente permitíssemos que a geração de respostas obedecesse uma estruturação similar àquela obtida como resultado da análise, onde obtivéssemos os elementos de resposta e os agrupássemos de modo a configurar sentenças na própria língua, através das mesmas regras gramaticais utilizadas

para análise. Porém, o agrupamento das informações pressupõe ainda o estabelecimento das relações semânticas e pragmáticas e assim, retornamos ao problema principal, que é o próprio tratamento de simulação de um comportamento natural.

Como um módulo de geração de respostas aceitamos então a construção de sentenças onde não se exige esforço linguístico e sim um arranjo das informações obtidas em resposta às solicitações do usuário. Essas informações devem ser precisas e exigem uma boa representação do problema para acessar o conhecimento específico de maneira clara e direta.

2.2.3 - Acesso ao conhecimento específico

O objetivo de tratarmos as sentenças do usuário de forma analítica é permitir a extração do seu significado - ato ao qual chamamos compreensão - para então possibilitar a busca das possíveis respostas, que só é satisfeita quando o sistema consegue localizar as informações pertinentes ao assunto em sua base de conhecimento. Quando as sentenças forem declarativas, em vez de possíveis respostas, o sistema deve utilizar a estrutura de compreensão da sentença a fim de incluir as informações correspondentes na base de forma coerente com o resto de seu conhecimento.

Na concepção de Schank, a estruturação do significado das sentenças deve seguir um padrão que permita sua interpretação conceitual como o faria o mecanismo de cognição da memória, independentemente da linguagem. Dessa forma, se quiséssemos alterar a sintaxe da linguagem natural em uso, alteraríamos somente o analisador, mas não o resultado da análise, estruturado a fim de gerar uma interpretação conceitual de acordo com a representação do conhecimento estabelecida no sistema.

Cada sistema dispensa tratamento especial à extração dos conceitos, dentre os quais podemos destacar a representação de casos, que são propriedades usadas para especificar de forma única um evento, caracterizado em geral por um verbo principal e suas informações adicionais, regidas ou não por preposições. A extração dos casos em sentenças nada tem a ver com a noção tradicional onde representavam a classificação superficial de nomes baseada em sua terminologia ou preposições, como é o caso do

grego, onde os casos dizem respeito ao gênero ou número do nome. Em vez disso, nas línguas de origem indo-européia admite-se o tratamento computacional de casos de acordo com seu uso numa sentença. Este conceito é ampliado para abranger o relacionamento entre os constituintes da mesma e, neste caso, são chamados casos profundos.

A representação lógica também tem papel muito importante como estrutura representativa dos conceitos extraídos de sentenças e aqui podemos citar a representação trivalente de Colmerauer.

De uma forma geral, extraída a representação conceitual da sentença introduzida pelo usuário, voltada à estrutura interna de representação do conhecimento, é possível acessá-la a fim de obter elementos de informação que preencham conceitualmente os requisitos nela embutidos. Nesta situação, estaremos completando informações das sentenças, quer com o objetivo de responder ao usuário, quer com o objetivo de acrescentar novos conhecimentos ao sistema.

Especial atenção deve ser dedicada a esta fase do processamento, pois dela dependerá a veracidade e viabilidade da interação natural. No capítulo IV voltaremos a falar nesse assunto.

2.2.4 - Interação com o usuário

Sabemos que para haver um processo de diálogo ou consulta entre homem e máquina é preciso que o sistema forneça subsídios para a construção das respectivas sentenças, apresentando ao usuário todas as informações que ele possui na base de dados e que podem ser acessadas através da interação. Estas devem estar disponíveis enquanto houver a intenção de se manipular o sistema.

O monitoramento deste comportamento traduz um "hiato" entre o que se pretende simular como comportamento inteligente e o que se consegue implementar, pois num processo de diálogo natural não é preciso que algum dos interlocutores esteja sempre atento para fornecer a seu companheiro informações sobre o que é que eles podem conversar. Supõe-se, neste caso, que o falante já tem consciência dos possíveis assuntos que ele pode abordar com o ouvinte, de modo que sua intenção será voltada ao objetivo de manter um diálogo construtivo.

Com o computador deve ocorrer processo semelhante. Porém, é possível que mesmo consciente do assunto que pode abordar, o usuário utilize um vocabulário (ou construções lingüísticas) desconhecido do sistema. Há algumas abordagens para resolver este problema: projetar sistemas de processamento de linguagem natural realmente robustos no sentido de dispenderem o máximo de esforço na tentativa de compreender as mensagens enviadas pelo usuário, ou sistemas que recusem as mensagens quando não conseguirem identificá-las.

A primeira abordagem computacional pode tornar a interação mais agradável, pois dificilmente recusará mensagens. Porém, é possível que suas interpretações nem sempre sejam verdadeiras. Por sua vez, a segunda abordagem pode ser bastante "intransigente", irritando um usuário quando o procedimento de recusa de sentenças for freqüente.

Para estabelecer a característica prática da interação, devem ser realizados estudos quanto ao perfil do usuário e conseqüentemente, quanto à freqüência com que ocorrem situações indesejadas durante a interação. Uma vez compreendidas as requisições do usuário, é possível buscar respostas na memória de dados, que devem ser transformadas em sentenças da linguagem natural e enviadas a ele como resposta. Este processo deve ser eficiente, visando satisfazer o tipo de requisição e o modo como se deve buscar as informações correspondentes.

Este tratamento no processamento de linguagem natural é realizado de modo experimental e não temos notícia de decisões realmente fundamentais que visem o processo natural inverso (da elaboração de sentenças pela máquina, em resposta ao usuário).

Para finalizar este capítulo, relacionemos os módulos de um sistema de processamento de linguagem natural aqui mencionados.

Em primeiro lugar, como responsável pelo colóquio com o computador, o módulo de interação fornece subsídios para que o usuário possa expressar-se em sua própria língua na comunicação com o sistema. O objetivo do usuário será o de declarar conhecimentos ou requisitar informações ao sistema.

De modo direto (através de um processamento léxico), é possível que o processo de comunicação atinja um segundo estágio, quando o sistema deve compreender as mensagens recebidas e tratá-las de forma conveniente. Os dois módulos responsáveis por essa tarefa são, na verdade, os principais módulos de um sistema de processamento de linguagem natural, pois deles depende a interação real: o módulo de análise de sentenças e o de acesso ao conhecimento específico.

O analisador de sentenças é capaz de analisar uma entrada somente se for aplicada uma seqüência de regras gramaticais que permita obter uma estrutura coerente de representação do conhecimento, mesmo que possa haver outras seqüências de regras a aplicar. A obtenção dessa estrutura pode ser feita de modo determinístico, quando as regras gramaticais embutirem um tratamento específico para decidir o caminho que o analisador deve tomar mediante a apresentação da entrada. Neste caso, este caminho deve ser único e se a decisão for incorreta, o sistema não terá condições de se recuperar, recusando uma mensagem que pode ser válida. Para sistemas determinísticos concluímos, portanto, que é necessário haver mecanismos que mostrem o caminho da solução sem sombra de dúvida. Tais mecanismos envolvem a análise dirigida parcialmente pelos dados e a geração de expectativas durante o processo de análise. Segundo Marcus, todas as sentenças que as pessoas são capazes de analisar sem dispendir muito esforço podem ser analisadas de modo determinístico [Marcus-80]. Assim, poderíamos fazer com que o componente sintático operasse de modo estritamente determinístico. Uma outra forma de estabelecermos tal comportamento é permitir a existência de somente uma regra

para determinada configuração da entrada. Porém, este procedimento não é real uma vez que a linguagem natural é inerentemente ambigua e o sistema deve supor a existência de tal característica nas sentenças que recebe para análise.

Portanto, para caracterizar o tratamento de linguagem natural acreditamos ser necessário estabelecer regras que permitam entradas ambiguas mas que sejam capazes de "adivinhar" o caminho correto de interpretação ou de retroceder quando não chegarem a resultado satisfatório. Além do retrocesso é possível ainda associar hipóteses a pontos determinados da estrutura de análise que verifiquem os dados de entrada, de modo a garantir a validade da análise efetuada até o ponto em questão.

Assumindo ou não características não determinísticas, o objetivo é um só: permitir que a representação conceitual de sentenças seja única, embora sua representação superficial possa ser ambigua. Está claro que uma representação conceitual ambigua irá permitir acesso ao conhecimento também de forma ambigua, diminuindo o grau de confiabilidade do sistema.

A introdução de hipóteses a alguns níveis da análise traduz a conjunção dos tratamentos sintático e semântico dedicados a sentenças da linguagem natural, de forma a garantir o resultado final da análise e permitir um acesso confiável ao conhecimento.

CAPITULO III

SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL

3.1 - Evolução

No início da década de 1970 surgiram os primeiros trabalhos em processamento de linguagem natural, que baseavam-se no tratamento de mensagens como cadeias de caracteres. O entendimento era realizado através do reconhecimento de padrões pré-estabelecidos, envolvendo regras morfológicas de relacionamento entre cada item componente da mensagem. Porém, esse caminho não era adequado ao tratamento de línguas, uma vez que o comportamento global de mensagens era relegado a segundo plano, enquanto deveria ser decisivo no processo de compreensão. Assim, o estudo do processamento de linguagem natural passou a considerar os conceitos estruturalistas desenvolvidos no início do século e reforçados por Chomsky, referindo-se ao alinhamento de estruturas de dados do qual se extrai o significado, e estabelecendo a análise de sentenças e não mais de palavras com vistas à compreensão [Chomsky-65].

Winograd fez uso dessa teoria ao desenvolver SHRDLU [Winograd-72], um robô capaz de manipular blocos mediante ordens recebidas em inglês e executadas como um conjunto de procedimentos elaborados de modo a simular os movimentos solicitados. Este robô era capaz de executar ordens tais como:

"Pegue o bloco e coloque-o sobre o cubo."

"Busque a pirâmide verde."

Estas ordens eram tratadas de modo a representar certas construções lingüísticas de modo real. Por exemplo, a utilização do artigo definido nas sentenças acima pressupõe o conhecimento do objeto por ele determinado. Se tomarmos a segunda sentença, sabemos que é possível supor que existe uma única pirâmide de cor verde, conhecida pela pessoa que dá a ordem e pelo robô, seu executor. Este entendimento deve-se ao uso do artigo a, que define o objeto pirâmide. Esta função dos artigos definidos quase sempre ocorre em construções gramaticais. O sistema é capaz também de reconhecer elipses (idéias subentendidas mas não explicitadas) utilizando regras heurísticas de busca para a interpretação correta, entender referências recentemente feitas na conversação e tratar frases nominais complexas, como aquelas que contêm relativas ou construções de comparação entre seus elementos.

Winograd resolveu o problema de desempenho dinâmico do sistema, tanto no ambiente físico quanto no ambiente lingüístico. Porém, o conhecimento que o sistema possui restringe-se apenas ao mundo dos blocos. As expressões resultantes da análise de sentenças são representadas através da lógica de primeira ordem. A essas expressões é possível aplicar métodos de resolução já conhecidos e isto torna o sistema mais poderoso. De acordo com essa representação clássica, a idéia central deste é de que tudo o que é conhecido pode ser provado e o que não pode ser provado (podendo ser inclusive desconhecido) é falso.

Paralelamente a este sistema temos o surgimento do LUNAR [Woods-72], que utiliza método distinto de representação do conhecimento no processamento de linguagem natural, pois baseia-se em ATNs (Augmented Transition Network) - Redes de Transição Aumentadas. Este sistema foi projetado para acessar uma base de conhecimento que contém informações técnicas sobre amostras lunares. Seu processador de sentenças recebe sentenças em inglês e as mapeia em árvores de análise através das ATNs, que são representadas por expressões diretamente executáveis, seguindo um formalismo semântico uniforme.

As ATNs foram desenvolvidas como um modelo de representação de gramáticas que possibilita a transição entre redes de estados finitos, com ações semânticas associadas a cada transição. A transição pode reincidir sobre nós da rede já percorridos, refletindo a recursividade na análise. Devido a esses fatores, essas estruturas de análise tiveram poder equiparado ao das máquinas de Turing. Além dessas ações, registradores foram acoplados ao sistema para que a representação da mensagem se fizesse em termos de sua estrutura profunda, a qual, nos padrões lingüísticos, permite que a compreensão receba um tratamento mais adequado. A sintaxe da gramática é de caráter geral e permite o tratamento de elipses através da busca de um sintagma nominal que tenha ocorrido anteriormente e que possua estruturas semântica e sintática semelhantes ao sintagma nominal provável de ocorrer na lacuna detectada como elipse numa sentença.

O Lunar foi a primeira tentativa de se tratar a interação utilizando quantificadores, negações e conjunções. Entretanto, no tratamento de linguagem natural é necessária a utilização

de várias sub-redes que definam cada estágio da análise de sentenças, ou cada regra possível de se aplicar na tentativa de se extrair a estrutura de análise de sentenças. Este fator acarreta uma comunicação entre as sub-redes envolvidas, cujo gerenciamento não é tão elementar. Como exemplo, podemos citar a ocorrência de informações conjugadas numa mesma sentença, que podem corresponder a sub-redes distintas, interligadas no processo de análise. Este comportamento deixa de ser trivial com o uso de ATNs.

Esses sistemas foram os responsáveis pela caracterização dos sistemas de processamento de linguagem natural baseados no tratamento gramatical de sentenças. Os sistemas que têm sido desenvolvidos a partir destes procuram aplicar conhecimentos lingüísticos de modo gradativo.

É o caso de GUS, desenvolvido por Bobrow em 1977, que simula um agente de viagens cuja função é orientar um cliente com respeito a viagens aéreas [Bobrow-77]. Enquanto os sistemas anteriores permitiam somente a abordagem realizada pelo usuário, estando desse modo disponíveis somente para consulta, este já é caracterizado também por funcionar como interlocutor, tomando a iniciativa do diálogo.

Tal sistema possui quatro módulos: analisador morfológico, analisador sintático, gerador de estruturas representativas do conhecimento e gerador de sentenças em linguagem natural. Estes módulos trabalham independentemente, sob a supervisão de um multiprocessador. A representação do conhecimento é baseada na idéia de frames, estruturas desenvolvidas por Minsky para organizar o conhecimento em grande escala e projetadas de modo a comportar informações gerais sobre entidades de mesma classe. Estas

informações são particularizadas para um objeto quando este é relacionado ao contexto durante a comunicação. No caso do Gus os frames representam informações globais sobre pessoas, cidades, períodos de viagens, hotéis, vôos, etc..

A particularização das informações neste processo é conhecida como preenchimento de lacunas (ou slots), que permanecem "vazias" até o momento em que um objeto qualquer obedeça as características da entidade correspondente. Assim, ao obter as características particulares de um dado passageiro, Gus é capaz de enquadrá-lo, por exemplo, na classe de passageiros turistas, quer por sua ocupação principal, quer por seus objetivos para realizar a viagem em questão. Isto quer dizer que nessa classe havia uma lacuna vazia correspondente à identificação do passageiro, que pôde ser preenchida no momento em que se identificou um indivíduo que satisfazia os requisitos de turista. Desse modo, todas as informações adicionais associadas a turistas ficam disponíveis para esse passageiro. Por exemplo, se quiséssemos indagar qual a ala que o indivíduo ocupará no avião, o sistema seria capaz de responder que é a ala econômica, pois turistas viajam nessa ala de passageiros. Esta informação não foi introduzida juntamente com a identificação do passageiro. Ela já existia, como uma característica de uma classe - a turística. Ao enquadrar o indivíduo nessa classe essa informação passou a ser um dado do indivíduo, possibilitando a ampliação de conhecimento em relação a ele. Como notamos, este procedimento enriquece o diálogo.

As informações específicas que nesse exemplo correspondem à identificação do passageiro, são retiradas de modo direto

através do diálogo. É possível ainda extrair informações através de processos de inferência sobre o mesmo ou ainda, através de regras default sobre uma classe no caso de não haver modo melhor de se chegar a uma conclusão.

A compreensão no sistema Gus engloba também as análises semântica e pragmática, que não constituem passos distintos e seqüenciais no tratamento das sentenças, sendo realizadas simultaneamente. Desse modo, uma estrutura em construção pode ser rejeitada antes que a extração de seu significado esteja completa. As perguntas indiretas ao sistema são tratadas também através de processos de inferência sobre as expectativas obtidas a partir do assunto e dos objetivos pretendidos. Ainda são entendidas paráfrases, que são sentenças distintas com o mesmo significado, e as perguntas diretas (sentenças interrogativas) podem ser substituídas por sua forma afirmativa para efeito de análise, atitude fundamentada na teoria de gramática transformacional.

O diálogo segue alguns padrões de conversação definidos para situações especiais que limitam o sistema de compreensão. O preenchimento de lacunas neste sistema é o responsável pela manutenção do diálogo, razão pela qual seu gerenciamento deve ser bastante eficiente, mantendo vários processos ativos ao mesmo tempo. Esse comportamento é implementado através de co-rotinas expressas em Interlisp, e deixa de ser trivial quando se trata de selecionar ou trocar frames que representam objetos de mesma classe.

Outro sistema de processamento de linguagem natural que utiliza processo similar ao Gus é Boris, desenvolvido por Dyer e Lehnert, cuja função é processar fragmentos de textos sobre

divórcio e permitir consultas sobre os textos [Lehnert-83]. Sua versão original possui quatro módulos que recebem o nome de: analisador conceitual, assimilador de eventos, módulo de perguntas e respostas conceituais e gerador de sentenças em inglês. Através da análise dos textos o analisador conceitual constrói estruturas interdependentes utilizando a teoria de dependência conceitual de Schank [Schank-75]. Essas estruturas são assimiladas em episódios. A teoria de Schank é vista mais detalhadamente em capítulo posterior.

De posse desses episódios, podemos dizer que o sistema "aprende" uma estória. Conseqüentemente, está apto para responder perguntas relativas a ela. Assim, o módulo de perguntas é capaz de interpretá-las para depois buscar as possíveis respostas a nível conceitual, que são transformadas em expressões em inglês em resposta direta ao usuário.

Como o desempenho deste sistema se mostrou insatisfatório, foi construído um segundo analisador chamado DYPAR (de DYer PARser), desenvolvido por Dyer, que busca construir interpretações de perguntas ao mesmo tempo em que as analisa. O DYPAR utiliza os demons ou servos, que são processos solicitados num momento qualquer da análise, mas ativados somente quando necessário. São desenvolvidos para criar estruturas de processamento mais complexo e podem gerar tanto informações procedurais quanto expectativas durante o diálogo. Esses processos são chamados explicitamente. Somente quando as condições a que são submetidos se verificam é que eles são ativados. Dizemos que as condições verificadas "disparam" os demons, produzindo interligações entre

várias estruturas.

Como vantagem desse processo cada estrutura de conhecimento pode ser especificada independentemente das outras e tem caráter bastante particular. Conseqüentemente, as possíveis respostas freqüentemente são conhecidas antes que a análise termine. A compreensão, porém, fica um pouco prejudicada devido à perda de informações importantes durante a análise.

Diferentemente dos analisadores sintáticos dos sistemas anteriores, que constroem estruturas sintáticas correspondentes a sentenças, este analisador baseado em demons extrai conceitos de sentenças e representa-os como frames. Todos esses analisadores têm como objetivo extrair o significado de sentenças, que em maior ou menor escala sofrerão uma transformação a fim de contribuir para a interação e fornecer respostas às requisições do usuário.

Também como uma ferramenta de suporte ao processamento de linguagem natural em grande escala enquadram-se os roteiros (ou scripts), que definem seqüências de eventos e podem ser utilizados para ordenar certas construções lingüísticas [Schank-77]. Assim, é possível por exemplo, estabelecer ordem quanto ao tempo entre os elementos componentes de uma sentença ou mesmo indicar relações causais entre os mesmos.

Assim como nos frames temos nos roteiros propriedades de regras default e processos específicos para dadas situações. O que os difere dos frames é justamente sua seqüencialização de eventos.

Faz uso desse método de representação do conhecimento o sistema SAM (Script Applier Mechanism) [Schank-77], que é capaz

de compreender sentenças que tratam de assuntos da vida diárias tais como uma conversa sobre a ida a um restaurante ou a um cinema. Para isso, o conhecimento que o sistema deve ter diz respeito ao que comumente ocorre em qualquer restaurante ou cinema. Nesse sentido, ele é dotado de roteiros gerais para cada assunto, devendo aplicá-los às situações específicas com o objetivo de responder perguntas ou parafrasear sentenças introduzidas pelo usuário.

Como exemplo, o sistema é capaz de compreender a seguinte estória:

"João foi a um restaurante e pediu carne de vaca. Pagou a conta e deixou o restaurante."

e responder à pergunta:

"O que João comeu?"

comparando os roteiros que possui com a requisição e inferindo a resposta adequada, que seria "João comeu carne de vaca".

As informações contidas nos roteiros podem ser usadas para tratar de grande variedade de informações de senso comum. Portanto, este sistema dá ênfase ao conhecimento do mundo, em adição ao conhecimento lingüístico, para possibilitar a comunicação em linguagem natural, afirmando que "mais que o conhecimento da linguagem, é necessário ter conhecimento do mundo para permitir a compreensão" [Hendrix-81]. Este foi um dos primeiros processadores de linguagem que tratou de seqüências de eventos da vida diária e é limitado sob vários aspectos: as ações nos rotei-

ros seguem uma seqüência estritamente linear que impossibilita o tratamento de soluções alternativas ou a repetição de ações. Seu manuseio é dificultado quando há vários personagens que partilham a mesma história e não é fácil determinar os roteiros particulares que se aplicam a um dado assunto.

Ainda na década de 70, destacamos o sistema TUGA [Coe-lho-79], que é capaz de conversar em português para fornecer serviços de biblioteca, tomando a iniciativa do diálogo em algumas situações. Este sistema possui dois níveis gramaticais: um para frases independentes na interação, utilizadas como solicitações pelo usuário, e outro para diálogos.

A gramática de diálogos é desenvolvida no Tuga de acordo com modelos que ocorrem no mundo das bibliotecas.

Para as frases independentes que são solicitações do usuário é realizada uma tradução para estruturas lógicas que juntamente com a base de dados, fornece respostas adequadas ao usuário passando antes por um processo de análise léxica. Basicamente, as estruturas são resultado do esforço conjunto da análise sintática e semântica fundamentadas na análise de linguagem natural de Colmerauer, que permite formalizar a representação do significado de sentenças em estruturas lógicas [Colmerauer-77]. Essa formalização também é possível através das Gramáticas de Cláusulas Definidas (GCDs) que Pereira e Warren desenvolveram para o inglês como uma extensão da metodologia de Colmerauer [Pereira-80].

Em sistemas como este as respostas ao usuário representam a atribuição de um valor de verdade às estruturas lógicas

resultantes da análise, gerando as correspondentes mensagens de saída.

Iniciando a segunda década de processamento de linguagem natural surge o CHAT-80 [Pereira-83], que como o Tuga, lança mão das GCDs e de seu formalismo estendido - as Gramáticas de Extraposição (GEs) - utilizando também as noções de gramática gerativo-transformacional de Chomsky. Este sistema fornece subsídios para consultas a uma base de dados sobre geografia mundial e reflete o poder da lógica aplicada à análise de linguagem natural, particularizando certos aspectos lingüísticos como a ocorrência de frases relativas e interrogativas ou a ambigüidade em sintagmas nominais.

A análise de sentenças através das regras da GE produz expressões semânticas, também chamadas cláusulas definidas, que são adequadas à recuperação dos dados, pois são diretamente executáveis por seu hospedeiro, o Prolog. Assim, o formalismo de representação semântica é orientado pela base de dados de modo a corresponder a cláusulas definidas que resultarão em fórmulas fechadas da lógica, onde todas as variáveis devem ser quantificadas.

As informações sobre o domínio em questão são aqui separadas em sintáticas e semânticas e/ou pragmáticas, método conveniente para a programação porém, não para a transportabilidade do sistema a outros domínios. A mesma estrutura de representação de resultados da análise - as cláusulas definidas - são utilizadas também para descrever as regras gramaticais de análise de sentenças.

As regras de interpretação do significado resumem-se a dois grupos: regras de preenchimento de lacunas, que decidem como as palavras individuais traduzidas para a forma lógica tomam seus argumentos ou qualificações e as regras de escopo, que determinam o domínio de validade dos vários operadores lógicos existentes na tradução de uma sentença.

Já como sistemas comerciais atuais, podemos citar os três introduzidos no mercado em 1985: Craft [Carnegie-85], NLMenu [Texas-85] e o Q&A [Kamins-85, Q&A-86].

O Craft é uma ferramenta de auxílio para construção de interfaces em linguagem natural que inclui bases de dados e sistemas especialistas. É capaz de analisar sentenças do inglês morfológica e sintaticamente, construindo gramáticas de domínio específico que incluem o conhecimento sintático expresso numa linguagem de reconhecimento de padrões e são representadas como um conjunto de frames de casos. Entre os padrões desconhecidos, destacam-se as disjunções e negações nas sentenças de entrada.

A gramática deve ser fornecida pelo projetista da interface ao sistema especialista do Craft, que é capaz de criá-la, modificá-la ou testá-la, gerando sua versão compilada. Para cada aplicação distinta o projetista deve escrever uma nova gramática. O sistema corrige erros de grafia, resolve elipses e parafraseia requisições do usuário. Para casos regulares de verbos o projetista deve somente fornecer sua forma infinitiva, pois o sistema é capaz de tratar automaticamente cada apresentação morfológica distinta do verbo conjugando-o corretamente.

Com relação aos símbolos terminais da gramática, que correspondem ao vocabulário permitido na interação, é possível agrupar mais de um símbolo para representar uma única entidade. Craft considera nesse caso que o terminal é formado, na realidade, por um conjunto de palavras do vocabulário.

É possível distinguir frames de casos nominais, sentenças ou adjetivais, que representam sintagmas nominais, sentenças ou adjetivos e frases relativas, respectivamente. Estes são ativados através de um conjunto de padrões que os caracterizam.

Este sistema é capaz também de responder questões do tipo "sim/não", "quem", "o que", "onde", etc., usando os mesmos frames que utiliza na análise de sentenças declarativas. Ainda manuseia quantificações, tais como "todo", "cada", "pouco", "muito", etc..

O NLMenu já é uma interface em linguagem natural baseada em menus, que guia a formação de sentenças realizada pelo usuário. Os itens dos menus podem ser palavras ou frases, dentre as quais há algumas ordens que permitem alterações da gramática ou do dicionário. Essas ordens correspondem a opções especiais fornecidas ao usuário para que ele tenha acesso ao sistema de modo mais fácil. Assim que o usuário completa uma sentença, o sistema fornece-lhe a opção de executá-la ou não. Em caso afirmativo, o sistema procura responder-lhe acessando uma base de dados.

Seus módulos mais importantes são a gramática e o léxico ou dicionário. Este define os itens declarados nos menus, relacionando-os aos símbolos terminais da gramática. Esses dois módulos devem ser especificados a cada nova aplicação pelo proje-

tista e são automaticamente trabalhados pelas opções especiais do menu de modo a gerar a gramática completa e o correspondente dicionário para a aplicação. Este gerador é constituído de procedimentos definidos através de uma Gramática Livre de Contexto (GLC) e aplica-se somente a dados relacionais. Para a construção da gramática o NLMenu também verifica a ocorrência de ciclos ou conflitos.

Como resultado da análise de sentenças este sistema apresenta suas estruturas em árvore. Podemos ver que nesse sistema o usuário é guiado para utilizar o subconjunto de linguagem natural que o sistema conhece, não necessitando fazer análise morfológica das palavras selecionadas por ele. Aqui também não se apresenta o tratamento com respeito a elipses e pronomes.

De acordo com Wahlster [Wahlster-86], as expressões construídas como resultado da interpretação das sentenças do usuário parecem bastante formais, o que não é um fator positivo no tratamento de linguagem natural, pois esta não é totalmente formalizável.

O Q&A é um sistema que possui uma interface em linguagem natural chamada Assistente Inteligente, que permite recuperar ou atualizar dados de uma base. Os elementos dessa base de dados são representados como tuplas onde os argumentos são os dados relacionados a algum domínio. Possui um módulo de aquisição de conhecimento que permite ao usuário especificar termos genéricos referentes a um assunto, por exemplo, nome, idade ou salário de um funcionário de uma firma, conjugados a sinônimos. Além disso, é possível estabelecer o relacionamento semântico dos verbos com

os seus complementos. Por exemplo: um verbo transitivo direto pode possuir somente objetos diretos de determinada classe. No caso de empresas, poderíamos tomar como exemplo o verbo receber, que admite salário como complemento direto nesse contexto. Neste caso seria possível que o sistema respondesse a pergunta

"Quem recebe mais do que Cz\$30000,00?"

associando a quantia ao objeto direto salário.

É possível ainda estabelecer comparações ou termos de medida entre campos numéricos, por exemplo, atribuir a qualificação de "muito alto" a um dado salário, ou dizer que um empregado é mais jovem do que outro. O usuário pode também definir paráfrases de elementos, introduzindo-as durante o diálogo. Por exemplo, ao dizer "Defina salário total como salário real mais horas extras."

A gramática é representada por uma GLC, que o usuário não pode alterar, compilada de modo a tornar o sistema mais eficiente. É permitido ao usuário somente alterar o conhecimento léxico, acrescentando informações à base de dados. O analisador transforma entradas em linguagem natural em estruturas compostas por unidades semânticas possíveis de serem manipuladas e através de um procedimento de rephraseamento é gerada uma paráfrase dessas estruturas, que é apresentada ao usuário para verificar se ele está de acordo com a interpretação. Em caso afirmativo a estrutura é submetida ao processo que permitirá acessar a base de dados para obter as informações correspondentes. Com este enfoque, o usuário fica ciente de passos intermediários do processo de interpretação realizado pelo sistema.

As características gerais do sistema ainda admitem o tratamento de elipses, o reconhecimento de ambigüidades, que são apresentadas ao usuário para esclarecimentos e a detecção de palavras desconhecidas (incluindo as erradas), que também lhe são apresentadas na tentativa de retomar a análise. No caso de correção de palavras, no entanto, a interpretação é retomada no início da sentença e não no ponto onde o problema foi encontrado. Antes de assumir que a palavra é desconhecida, o Q&A mostra todo o vocabulário que conhece ao usuário, de modo que ele possa substituí-la por um sinônimo. Somente quando o usuário não faz a substituição a palavra é assumida como desconhecida. São tratadas também sentenças relativas, declarativas, imperativas ou interrogativas. Neste último caso, basicamente com perguntas do tipo "o que", "quem", "onde", "quanto", etc., algumas formas de disjunções e conjunções e ainda pronomes pessoais ou possessivos. O caso genitivo da língua inglesa não é tratado pelo sistema na versão original.

Com esses três sistemas finalizamos o enfoque pretendido de uma linha de pesquisa para o tratamento computacional da linguagem natural. Esta linha de pesquisa tem como características básicas a formalização da sintaxe, o estabelecimento de regras semânticas e pragmáticas ainda não consolidado, pois em alguns casos comporta-se de modo "ad hoc" e noutros já traduz um aprofundamento teórico (com a utilização de frames, por exemplo) e, finalmente, a preocupação no sentido de tornar a interação natural entre o homem e o sistema, refletida ao se enfatizar ora as decisões tomadas pelo próprio usuário, ora as assumidas pelo

sistema. Esta preocupação será uma constante no processamento de linguagem natural, pois a naturalidade na comunicação é a principal medida de desempenho dos sistemas em construção.

Podemos citar uma nova linha de pesquisa que surge marcadamente a partir de 1980. Esta linha difere da anterior, pois utiliza idéias desenvolvidas na área de psicologia e ciência cognitiva.

Aos modelos desenvolvidos segundo esse novo enfoque dá-se o nome de Modelos Conexionistas (MCs), pois baseiam-se nas propriedades do processamento de informações dos neurônios do ser humano, tidas pelos especialistas como uma rede de nós interconectados de modo a transferir informações, relacionando-as para que haja compreensão.

Os MCs têm despertado interesse não só pela sua semelhança de representação com o processamento dos neurônios no cérebro humano, mas também pela sua adequabilidade de implementação em máquinas de processamento paralelo, permitindo a distribuição dos processos na busca da interpretação. Na realidade eles constituem uma abstração do que se entende hoje pelo processamento de informações nos neurônios, realizado de forma distribuída. A característica fundamental dos MCs, portanto, é sua associação com os neurônios. Assim como estes não realizam o processamento independente de informações e nem manuseiam grande quantidade delas sozinhos, mas pelo contrário, distribuem-nas entre vários nós, conectando-os apropriadamente, o MC visa atitude semelhante.

O problema para a computação é o gerenciamento das conexões de todas as informações necessárias, pois sabemos que isto requer tempo considerável, comparado ao tempo em que a mente

processa o mesmo tipo de informações.

São de nosso conhecimento nesta área os trabalhos desenvolvidos por Feldman e Pollack [Feldman-82, Pollack-86]. Feldman desenvolve um formalismo matemático para explicar as funções biológicas adequadas aos MCs. Já Pollack fornece uma visão prática de um modelo de linguagem natural baseado em conexões, implementado em Lisp.

Veremos mais detalhes deste assunto no capítulo IV.

3.2 - Relação de nosso trabalho com os sistemas existentes

Nossa interface em linguagem natural para consulta a uma base de dados sobre referências bibliográficas enquadra-se na classe de trabalhos fundamentados mais na sintaxe e semântica do que propriamente na pragmática, como é o caso dos sistemas desenvolvidos até 1980, que diferem dos atuais pois estes visam muito mais o enfoque pragmático.

Não é o objetivo deste trabalho desenvolver técnicas de recuperação de informações no tratamento de linguagem natural. Porém, é realizado um tratamento de erros elementar das entradas fornecidas pelo usuário, baseado em mudança de gênero, número ou tempo e conjugação de verbo, de modo que o sistema recuse a mensagem caso não consiga recuperá-la.

A sintaxe é fundamentada no tratamento de GCDs realizado por Pereira e Warren, com particularidades adotadas de modo "ad hoc" para efeito de implementação.

A semântica é uma versão simplificada da quantificação de Colmerauer e fornece uma estrutura representativa do significado prontamente executável, que aglomera as informações extraídas das sentenças fornecidas pelo usuário.

O valor atribuído a cada estrutura analítica (ou fórmula lógica), corresponde aos valores verdade "verdadeiro" e "indefinido" de Colmerauer. Não é possível haver negação verdadeira pois a interpretação das fórmulas é submetida ao provador de teoremas embutido no Prolog de Edimburgo. Este falha ao não conseguir provar um teorema, fornecendo um valor falso como interpretação de qualquer fórmula que não corresponda à falsidade

absoluta, mas sim à incapacidade de provar o que foi solicitado.

Veremos as características desta interface com mais detalhes no capítulo V.

CAPITULO IV

REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO E LINGUAGENS INTERMEDIARIAS EM SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL

4.1 - Introdução

A formulação de sentenças representa a codificação do pensamento. Sua decodificação e conseqüente recuperação de informações representa o processo de compreensão. Portanto, atribuir significado a sentenças é estabelecer seu relacionamento com o pensamento gerador de sua codificação. Para que este processo seja viável, é necessário que todo pensamento capaz de gerar código seja bem definido. Esta é uma exigência básica no processo humano de comunicação, embora possa ser relaxada no sentido de que o homem é capaz de compreender mensagens mesmo que elas não estejam completas.

Já no processo computacional, não podemos permitir uma representação do conhecimento incompleta, pois a máquina não é capaz de reconhecer construções não explicitadas. Assim, é preciso tentar resolver problemas sérios tais como a diversificação do vocabulário e do domínio de interpretação de sentenças. A primeira medida nesse sentido é a limitação do contexto para possibilitar o desenvolvimento de modelos de representação cujos processos de inferência sejam eficazes. Essa limitação não impede que os aspectos do vocabulário e da interpretação de sentenças sejam abrangidos de modo a demonstrar a validade do processo computacional. Assim, mesmo num ambiente restrito podem ocorrer os

fenômenos lingüísticos que traduzem os problemas de compreensão de linguagem natural tais como vários conceitos representando um mesmo elemento do vocabulário, o que caracteriza processos ambíguos. Surge, assim, a exigência de descobrirmos exatamente o que o vocabulário deve representar e como vamos convertê-lo para que traduza de modo preciso o pensamento desejado. Esta conversão deve produzir um resultado único, que corresponda à decodificação das sentenças e sobre o qual se aplique um conjunto de operações com vistas à compreensão.

Nosso modelo de representação deve apresentar algumas características mínimas: ser adequado ao contexto, possuir habilidade para manipular as estruturas de representação, inferindo respostas de modo eficaz, ou ser maleável no sentido de permitir a expansão do conhecimento. Neste modelo, a execução de tarefas específicas deve ser bem dirigida. De acordo com ele, podemos definir uma linguagem intermediária de pensamento que corresponderá à decodificação das sentenças com o objetivo de recuperar as informações armazenadas no sistema. É possível encarar a linguagem intermediária de dois modos: como estrutura com a qual se pode acessar o conhecimento de modo direto ou como estrutura sobre a qual se aplicarão procedimentos que visam a busca do mesmo. Com o primeiro enfoque, estamos dizendo que a linguagem intermediária pode ser a mesma linguagem de representação do conhecimento. Com o segundo enfoque, teremos uma linguagem intermediária que deve sofrer um processo de transformação a fim de identificar-se com a linguagem de representação do conhecimento. De qualquer modo, para que o sistema consiga manipulá-la, preci-

samos representá-la formalmente, procurando fazer com que ela seja livre dos aspectos problemáticos da linguagem natural para facilitar a compreensão. Estudando esses aspectos estaremos delimitando o problema de representar o conhecimento computacionalmente.

Discutiremos, neste capítulo, algumas linguagens de pensamento que se destacaram para o processamento de linguagem natural.

4.2 - Linguagens intermediárias

4.2.1 - Primitivas semânticas e dependência conceitual [Schank-75]

Schank é um psicólogo que acredita que no processo de comunicação é possível exprimirmos todo nosso vocabulário numa linguagem do pensamento que independe da língua utilizada e que torna possível representar uma idéia de modo conceitual através da escolha de palavras ou classes de palavras que exprimem o relacionamento entre os elementos do discurso. Ao conjunto de tais palavras Schank denominou ações primitivas.

A idéia é construir uma formalização em ações primitivas, que seja equivalente a uma sentença na linguagem natural, no sentido de possuírem o mesmo significado. Os objetos da linguagem natural são separados em grupos de objetos que possuem características semelhantes, de forma a otimizar a interpretação e a formulação de sentenças na própria linguagem natural.

Escolhidos os elementos básicos da representação con-

ceitual, que definirão os conjuntos representativos do significado, deve-se considerar:

- a não ambigüidade da representação,
- a singularidade da mesma,
- a semelhança do modelo com o comportamento humano e
- a capacidade do computador operar eficientemente.

Segundo Schank, na representação do significado não existem palavras, assim como não existem na mente humana. Num diálogo, as palavras são interpretadas como um conjunto de elementos primitivos que constituem a representação do significado.

Em Dependência Conceitual, ações são coisas que podem ser realizadas por objetos. Cada ação deve ser associada a um objeto conceitual, podendo sofrer modificações adicionais. Ao conjunto dessas modificações chamamos casos conceituais.

Assim, uma conceitualização envolverá uma ação, um ator e os casos conceituais decorrentes de modificações exercidas sobre a ação. A conceitualização pode também ser formada por um objeto e sua descrição de estado. Por objeto (OF) entende-se tudo o que representa uma classe de conceitos e que possa executar ações. Há ações físicas, que representam o que um objeto animado pode fazer a outro objeto, e ações mentais, que representam o que um objeto faz sobre uma idéia.

Segundo Schank, todo o universo de comunicação do homem pode ser representado através de onze classes de ações primitivas (APs), que envolverão, no máximo, quatro casos conceituais defi-

nidos pelo relacionamento que um nome tem com o resto da sentença em questão, através de seu verbo principal. Os verbos são divididos em seus elementos conceituais básicos, em termos de uma ou mais dessas onze classes.

CASOS CONCEITUAIS

Uma ação realizada por um objeto (OF) é representada conceitualmente por

OF <===> AP

onde AP corresponde a uma ação primitiva.

Os casos conceituais capazes de modificar o objeto conceitual de uma ação são:

1. Objetivo: Quando as APs podem ter objetos. É representado por:

AP ^o
<--- OF,

e indica que o objeto explica ou especifica a ação.

2. Diretivo: Quando as ações têm direções, que são as localizações de objetos. É representado por:

AP <--- D |
 |
 ---< OF1
 ---> OF2

onde DF1 e DF2 indicam a localização inicial e final do objeto, respectivamente.

3. Instrumental: Quando as ações possuem instrumentos, que são também conceitualizações completas. É representado por:

Neste caso, o ator da conceitualização principal e o ator da conceitualização instrumental devem ser os mesmos.

4. Recipiente: Quando temos a idéia de transferência de posse de um objeto. É representado por:

onde DF1 é o antigo possuidor do objeto e DF2 é o possuidor atua

ACOES PRIMITIVAS E SEU SIGNIFICADO

Schank separa as ações primitivas em quatro classes, que são determinadas pelo efeito que elas causam quando são executadas. Para cada ação definida por ele há restrições quanto ao tipo de constituintes que podem modificá-la. Em geral, essas restrições recaem sobre o constituinte cujo caso conceitual corresponde ao caso acusativo, como veremos a seguir.

A. Ações físicas

A.1. PROPEL: "Aplicar força a"

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

O objeto deve ser físico e seu tamanho deve ser pequeno o suficiente para que a força aplicada o faça mudar de posição.

O caso diretivo indica a direção da força exercida.

Essa ação corresponde a verbos como: golpear, atirar, puxar, empurrar, etc..

Exemplo: "João empurrou o móvel."

```

                                ----> Y
                                |
      P                          o
João <==> PROPEL <--- móvel <---|
                                |
                                ----< X

```

onde X e Y são as posições inicial e final, respectivamente.

A.2. MOVE: "Movimentar partes do corpo de algum objeto animado."

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

Os objetos podem ser unicamente partes do corpo, que se movem de acordo com uma direção indicada pelo caso diretivo.

Como exemplos de verbos, neste caso, temos: acenar, dançar, pular, andar, etc..

Exemplo: "Paulo move as mãos em direção à boca."

```

                                o      D |    ---> boca
Paulo <===> MOVE <--- mãos <---|
                                |
                                ---< X
```

A.3. INGEST: "~~Levar algo para dentro de um objeto animado.~~"

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

O objeto deve ser menor que a abertura do corpo e a direção é sempre de algum lugar para a abertura do corpo. Os verbos associados a essa ação são: comer, respirar, fumar, tomar fôlego, etc..

Exemplo: "Pedro comeu o peixe."

```

                                o      D |    ---> boca
Pedro <===> INGEST <--- peixe <---|
                                |
                                ---< X
```

A.4. EXPEL: "Tirar algo de dentro de um objeto animado."

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

O objeto deve estar dentro do objeto animado e a direção é da abertura do corpo para fora. Esta ação tem significado oposto ao anterior. Verbos que se enquadram nesse conceito são, por exemplo: chorar, transpirar, cuspir, etc..

Exemplo: "João extraiu um dente."

```

                                o          D |
João <===> EXPEL <--- dente <---|
                                |
                                ---> boca
                                ---> X

```

A.5. GRASP: "Agarrar um objeto."

Casos conceituais: Objetivo, Diretivo e Instrumental.

O objeto tem limite de tamanho e a direção é sempre para a parte do corpo que agarra. Em geral, esta ação diz respeito ao movimento das mãos ou dos braços de um ser animado.

Como exemplo, temos os verbos: segurar, abraçar, prender, arrebatrar, etc..

Exemplo: "O gato pegou o rato."

```

                                o          D |
gato <===> GRASP <--- rato <---|
                                |
                                ---> boca
                                ---> X

```

B. Ações que causam mudança de estado

B.1. PTRANS: "Mudar localização de algo."

Casos conceituais: Objetivo, Diretivo e Instrumental.

O objeto que sofre a mudança deve ser físico. Quando esta mudança ocorre, há alteração do local do objeto, provocada por algum instrumento. Esta ação representa conceitualmente os seguintes verbos: guiar, voar, andar, etc..

Exemplo: "João foi a São Paulo de carro."

B.2. ATRANS: "Mudar alguma relação abstrata com respeito a um objeto."

Casos conceituais: Objetivo, Diretivo, Recipiente.

O objeto é uma combinação de objeto físico e de uma relação abstrata que o objeto físico tem com algum objeto animado, que é indicado pelo caso recipiente. Em geral, esta ação diz respeito à transferência de posse de um objeto (do antigo possuidor para o atual).

Exemplo: "Paulo deu um livro a Maria."

C. Ações que ocorrem como instrumentos de alguma outra ação

C.1. SPEAK: "Produzir um som."

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

O objeto é sempre algum tipo de som que pode ser dirigido a alguém ou que é produzido em alguma direção indeterminada. Neste conceito, englobamos verbos como: falar, assobiar, cantar, etc..

Exemplo: "João canta."

```

                                o      D |
                                <--- som <---|
João <===> SPEAK                                     |
                                                |
                                                ---< boca
                                ---> X
```

C.2. ATTEND: "Dirigir um órgão dos sentidos para um estímulo particular."

Casos conceituais: Objetivo e Diretivo.

O objeto deve ser sempre um órgão dos sentidos e a direção para onde ele se volta é sempre o local do estímulo. Esta AP não é usada sozinha. E, em geral, o instrumento de MTRANS, que veremos a seguir.

D. Ações mentais

D.1. MTRANS: "Transmitir informação."

Casos conceituais: Objetivo, Recipiente e Instrumental.

Esta AP é a mais importante das APs mentais, pois trata da transferência mental entre partes do cérebro de uma mesma pessoa ou de pessoas distintas.

Schank considera que a mente é dividida em três partes: o Processador Consciente (PC), que guarda informações atuais, a Memória Intermediária (MI), onde há informações de contexto para auxílio ao PC e a Memória Permanente (MP), onde informações são armazenadas permanentemente. A transferência de informação pode ser feita entre essas partes do cérebro ou entre PCs de pessoas distintas.

Verbos que podem ser representados por essa ação são, por exemplo: falar, conversar, ler, anunciar, etc..

Exemplo 1: Transferência entre pessoas:

"João contou uma história a Pedro."

```

          P               o               R |
João <==> MTRANS <--- história <---|
                                     |
                                     ---< PC(João)
                                     ---> PC(Pedro)
```

Exemplo 2: Transferência entre partes do cérebro:

"Alice aprendeu a lição."

```

Alice      P      MTRANS      o      lição      R      ---> MP(Alice)
  <===>      <---          <---|
                                   |
                                   ---< PC(Alice)

```

Exemplo 3:

"Maria vê o cão."

```

Maria
      ---> PC(Maria)      /\
Maria <==> MTRANS <--- cão <---|      I ||
      |                        <---||
      |                        ||
      ---< olhos(Maria)  \/

```

ATTEND

```

      / \
     /o
    /
olhos

      / \
     /D
    /
  -----
 /      \
/        \
X         ção

```

D.2. MBUILD: "Criar ou combinar pensamentos."

Casos conceituais: Objetivo, Recipiente e Instrumental.

Os objetos são conceitualizações, que originarão novas conceitualizações através de MBUILD. O processo toma lugar na Memória Intermediária (MI), que recebe informações do Processador Consciente (PC) e coloca as conceitualizações geradas novamente no PC. Devido a essa característica, o instrumento de MBUILD é sempre MTRANS.

Como exemplos de verbos que podem ser representados por esta ação primitiva temos: decidir, concluir, imaginar, considerar, etc..

Exemplo: "João decidiu deixar a casa."

onde X e Y representam a combinação de informações já conhecidas, que serão usadas para gerar a nova conceitualização, que por sua vez, será transferida para o Processador Consciente novamente.

Os estados delineados por Schank são os estados de saúde, de medo, de ira, mental, físico, de consciência, de fome, de aborrecimento e de surpresa, aos quais ele atribui valores dentro de uma escala numérica, de modo que possam ser realizadas

comparações entre adjetivos. Dessa forma, um objeto pode possuir atributos descritos através de um estado e de um valor que determina o grau do atributo. Determinados atributos podem também ser uma combinação de vários estados.

Schank representa essa idéia da seguinte forma:

Uma ação realizada por um objeto pode causar a mudança de um valor no estado de um outro objeto sobre o qual se exerce a ação. Isto é representado como uma consequência, por:

$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = 1$

onde Maria é o ator da sentença.

No primeiro caso, o ator e o antigo possuidor são os mesmos (no caso, Paulo). Conclui-se que o verbo em questão é o verbo dar.

No segundo caso, o ator e o possuidor atual são os mesmos (no caso, Maria). Conclui-se então que o verbo em questão é o verbo pegar.

Tipos de inferência possíveis para uma certa ação, similares a esse, funcionam como dados para um programa que recebe as estruturas conceituais. Construídas as inferências, suas representações conceituais devem ser elaboradas e então o gerador de sentenças pode ser capaz de codificá-las na linguagem natural.

4.2.2 - Fórmulas Lógicas [Colmerauer-77]

Sempre com o objetivo de construir uma linguagem minimal que corresponda aos requisitos de representação do significado num processo de interação, Colmerauer sugere um mecanismo de transformação de sentenças em fórmulas semânticas que podem ser interpretadas num sistema lógico trivalente, onde podemos ter, além dos valores verdadeiro e falso, também o valor indefinido como interpretação da fórmula num domínio de conjuntos de objetos. Seu interesse é permitir a aplicação desse sistema para consulta, criação ou atualização de bases de dados. Inicialmente seu trabalho resumiu-se a processos de tradução da língua inglesa para a francesa, com requisitos simples quanto à sintaxe, porém rigorosos quanto à semântica.

Estudando o papel dos operadores, de negações e conjunções que podem ocorrer na linguagem, Colmerauer estabelece as condições sob as quais as sentenças podem ser transformadas em fórmulas lógicas, permitindo também que sejam tratadas sentenças sem nexos ou sentenças no plural.

A definição formal da tradução de sentenças pode ser dividida do seguinte modo:

A. Sentenças simples que envolvem substantivos próprios, separadas em três tipos:

1. Aquelas constituídas pelo verbo ser e um substantivo comum.

Exemplo:

"Cole é um autor."

que será traduzida por

autor(Cole).

2. aquelas que possuem verbos. Exemplo:

"Cole escreveu um artigo."

que será traduzida por

escreveu(Cole, artigo).

3. Aquelas que possuem adjetivos e o verbo ser. Exemplo:

"Cole é brilhante."

traduzida por

brilhante (Cole).

De um modo geral, a cada substantivo comum, verbo ou adjetivo associa-se uma propriedade com n argumentos, onde cada argumento é uma constante.

B. Sentenças complexas, onde os objetos do domínio são quantificados. Assim, a sentença

"Cole escreveu um artigo."

é parafraseada pela seguinte fórmula abstrata:

"para algum x tal que

x é artigo,

é verdade que

Cole escreveu x."

onde o operador está quantificando um objeto do domínio e estabelecendo uma relação entre as fórmulas

x é artigo

e

Cole escreveu x.

Como resultado, teremos uma nova fórmula:

$\text{um}(x, \text{artigo}(x), \text{escreveu}(\text{Cole}, x))$

Representando essa tradução de modo geral, toda sentença complexa corresponderá a fórmulas do tipo

$q(x, f1, f2)$

onde q é um quantificador de três ramos que, em geral, corresponde a um operador, x é a variável quantificada e f1 e f2 são as fórmulas onde ocorre x.

Pode-se ler fórmulas desse tipo, do seguinte modo:

"para um x tal que s1, é verdade que s2."

onde s1 e s2 são as sentenças correspondentes às fórmulas f1 e f2, respectivamente.

Como exemplos de operadores temos: um, todo, o, as, alguns, etc.; e também algumas palavras tais como poucos, vários, nenhum, etc.. Dentre estes, foi necessário estabelecer uma precedência de aplicação sobre a qual foram formuladas várias hipóteses, responsáveis por garantir a transformação das sentenças sem alterar-lhes o significado.

Tomemos alguns exemplos:

1. A sentença

"Ninguém entendeu a questão."

será parafraseada por

ninguém(x,pessoa(x),
a(u,questão(u),
entendeu(x,u)))

cuja hipótese é a precedência do operador introduzido pelo sujeito sobre aquele introduzido pelo complemento do verbo - no caso, ninguém e a, respectivamente.

2. Sentenças relativas serão quantificadas como sentenças simples, onde o pronome relativo será substituído pelo objeto extraposto. A fórmula correspondente à sua tradução será aco-

plada à informação principal da sentença e então a tradução estará completa. Como exemplo, tomemos as sentenças:

"Pedro ajudou a velhinha que quebrou a perna."

e

"O gato que saltou o muro é branco."

Suas representações serão, respectivamente:

a(x,e(velhinha(x),
a(y,perna(y),
quebrou(x,y))),
ajudou(Pedro,x))

e

o(x,e(gato(x),
o(y,muro(y),
saltou(x,y))),
branco(x))

que podem ser lidas como:

para um x e para um y tal que
x é velhinha e
y é perna e
x quebrou y,
é verdade que
Pedro ajudou x.

e

para um x e para um y tal que
 x é gato e
 y é muro e
 x saltou y ,
 é verdade que
 x é branco.

Colmerauer associou os operadores a quantificadores específicos. Por exemplo:

- 1.) um, uma: $um(x, f1, f2)$
- 2.) nenhum, nenhuma: $n\tilde{a}o(x, f1, f2)$
- 3.) todo, cada: $cada(x, f1, f2)$.

Estes operadores podem ser definidos na lógica como:

- 1.a.) $Ex(f1 \ \& \ f2)$ ou $\neg \forall x(f1 ==> \neg f2)$
- 2.a.) $\neg Ex(f1 \ \& \ f2)$ ou $\forall x(f1 ==> \neg f2)$
- 3.a.) $\neg Ex(f1 \ \& \ \neg f2)$ ou $\forall x(f1 ==> f2)$

onde

- E é quantificador existencial,
- $\forall$ é quantificador universal,
- & significa "e", $\neg$ significa "não",
- " $==>$ " significa implicação lógica e
- f1 e f2 são fórmulas constituídas por símbolos relacionais (verbos, nomes ou adjetivos) aplicados a constantes (nomes próprios) ou variáveis (as usuais da lógica).

Com essa associação, muitas sentenças podem ser traduzidas para a lógica, onde é possível atribuir-lhes uma interpretação. No caso da linguagem natural, haverá situações em que essa interpretação não terá valor definido. São os casos onde não se consegue constatar uma afirmação ou onde se tenta relacionar objetos definidos em domínios distintos. Por exemplo:

a.) "A blusa que caiu do varal é amarela."

não possuirá interpretação definida se ficar constatado que não é possível saber se há uma blusa que caiu do varal.

b.) Tomando um domínio onde o verbo ver corresponde a uma propriedade binária entre objetos distintos do domínio e tentando interpretar a sentença

"João viu-se no espelho."

que, na realidade, quer dizer

"João viu João no espelho.",

verificaremos que não é possível atribuir-lhe um valor verdadeiro ou falso, uma vez que não conseguimos reconhecer a relação entre dois elementos idênticos no nosso domínio através do verbo ver, por sua própria definição.

Assim, tanto um quanto outro exemplo possuirão valores indefinidos como interpretação. Isto ocorrerá sempre que houver menção a pelo menos uma fórmula indefinida numa estrutura lógica.

Definida a semântica, Colmerauer introduz um sistema

lógico para compreensão de linguagem natural, cujo formalismo é amplamente utilizado nos sistemas de Dahl, para o espanhol [Dahl-77], de Coelho, para o português [Coelho-79] e de Pereira para o inglês [Pereira-81].

Todos esses sistemas foram desenvolvidos com base nas Gramáticas de Metamorfose (GMS) [Colmerauer-75] e, por serem formalizados logicamente, sugerem um mecanismo poderoso para se derivar novos conhecimentos (através da prova ou dedução matemática) como respostas para soluções de problemas, que são apresentados como sentenças em linguagem natural e são convertidos para a forma lógica de um cálculo como linguagem intermediária. Sobre esta é possível produzir a prova por refutação utilizando-se o Princípio da Resolução [Robinson-65], que é um processo iterativo onde, a cada passo, duas cláusulas são comparadas, produzindo-se uma nova cláusula. Este processo envolve a unificação de cláusulas e a substituição de termos, onde a produção de novas cláusulas é a inferência realizada pela regra de Modus Ponens. Para maiores detalhes, ver [Nilsson-82].

4.2.3 - Estruturas de casos [Fillmore-68]

O estudo de casos realizado por Fillmore teve origem na teoria de casos existente para várias linguagens, como o grego ou o latim. Na tentativa de especificar um conjunto de casos para o tratamento de linguagem natural, constatou-se a dificuldade para tratar dos problemas semânticos da linguagem, e isto exigiu uma diferenciação entre casos superficiais e casos profundos. Os superficiais dizem respeito à estrutura sintática e os profundos visam refletir o relacionamento semântico entre os constituintes de uma sentença.

Para traduzir este relacionamento entre os constituintes, a estrutura intermediária utilizada deve ser capaz de explicitar todos os casos implícitos numa sentença. Isto é realizado através da organização da informação em função dos verbos e seus modificadores. Assim, o verbo é tomado como predicado da sentença e qualquer constituinte diretamente relacionado ao predicado é tido como seu argumento. A essa estrutura dá-se o nome de estrutura de casos ou frame de casos.

Numa gramática de casos é preciso haver regras que mapeiem as estruturas em regras gramaticais. Essas regras foram definidas por Fillmore com o objetivo de obter a estrutura profunda das sentenças. Uma sentença nessa estrutura consiste de uma modalidade seguida por uma proposição. Esta idéia pode ser dada pela seguinte regra de produção:

$$S \rightarrow M, P. \quad (I)$$

onde S é a sentença, M é o constituinte modal que inclui negação,

tempo, aspecto, etc. e P é uma proposição que consiste de verbo, sintagmas nominais e/ou sentenças completas, definida pela regra:

$$P \rightarrow V, C1, C2, \dots, Cn. \quad (II)$$

Numa proposição, pelo menos um caso deve existir, porém, o mesmo caso não pode aparecer mais de uma vez [Bruce-75].

Segundo Fillmore, as regras (I) e (II) são universais. Para se produzir marcadores de casos, uma terceira regra é necessária:

$$Ci \rightarrow K, Sn,$$

onde K gera uma preposição ou uma terminologia de caso e Sn corresponde ao sintagma nominal (K é, na realidade, o marcador do caso).

O marcador do caso é o responsável por mapear a estrutura profunda na estrutura superficial, reconhecendo palavras como funções de casos ou como elementos associados ao marcador. Muitos casos são marcados pelo uso de preposições. Por exemplo:

- Caso dativo:

"Maria deu o livro a Pedro."

- Caso locativo:

"Coloque o livro sobre a mesa."

- Caso instrumental:

"João cortou a carne com uma faca bem afiada."

Outros casos são marcados por categorias gramaticais usuais. Por exemplo:

- Caso acusativo: Muitas vezes diz respeito ao complemento verbal.

"Ana comprou um barco."

- Caso nominativo: É associado ao sintagma nominal que ocupa o lugar de sujeito (agente) numa sentença.

"Ana comprou um barco."

Uma estrutura de casos é capaz de reter todas as informações sobre as relações que um verbo tem com seus nomes numa sentença, definindo os casos centrais de um evento. Estes não correspondem necessariamente a informações aparentes na sentença em questão. Em geral, dizem respeito às informações contidas nas ações das pessoas quando estas tentam comunicar-se.

Num processo de interação, o dicionário do sistema deve conter todas as estruturas de casos para cada verbo, relacionando exaustivamente as características de cada um e especificando, inclusive, os casos que podem ser opcionais. Para estes, sua omissão numa sentença não prejudicará a compreensão.

O mapeamento dos casos nas estruturas pré-definidas deve ser realizado através do preenchimento de lacunas. Isto é

possível somente quando as restrições semânticas com respeito ao verbo forem verificadas durante o processo de compreensão. Por exemplo:

"Dei um livro a Pedro."

O verbo dar possuirá uma estrutura de casos similar à seguinte fórmula lógica:

```
dar(sujeito(A),  
    beneficiado(B),  
    objeto(O))
```

onde dar é o predicado correspondente ao verbo da sentença e cada argumento corresponde a um caso que o verbo dar pode ter. As letras maiúsculas A, B e O podem corresponder a variáveis não instanciadas, que passarão a ser instanciadas ao se mapear o significado da sentença acima nessa estrutura de casos. Desse modo, teremos:

```
dar(sujeito(eu)  
    beneficiado(Pedro),  
    objeto(livro)).
```

O sistema de Fillmore inclui os seguintes casos, identificados pelos constituintes na sentença [Bruce-75]:

Nominativo: o constituinte que pratica a ação.

Acusativo: o constituinte que corresponde a uma entidade que se move, ou se muda ou cuja existência está sob consideração.

Resultado: a entidade que passa a existir como resultado de uma ação.

Instrumento: o estímulo ou causa física imediata num evento.

Fonte: origem de um elemento que se move.

Destino: o destino para o qual um constituinte na sentença se move.

De acordo com V. Snarr [Snarr-85], cada verbo tem um subconjunto associado a cinco casos básicos: acusativo, dativo, locativo, instrumental e nominativo. Estes casos obedecem a ordenação dada, que corresponde à prioridade de definição ao se interpretar sentenças. A definição dos conjuntos de casos associados a cada verbo é feita de acordo com essa ordenação, com informações a respeito da opcionalidade do caso. Por exemplo, dado o verbo quebrar, seus casos serão

acusativo [instrumental] [nominativo],

onde a representação entre colchetes corresponde à opcionalidade do caso.

Snarr estabelece três regras para mapear os casos nos frames dos verbos:

Regra 1: O caso mais à direita corresponderá ao sujeito, se este for obrigatório. Caso contrário, será descartado (na realidade, é considerado opcional e é omitido). A mesma

regra será aplicada aos casos restantes, até encontrar o caso cuja lacuna será preenchida com o sujeito da sentença. Por exemplo, para a sentença

"A pedra quebrou."

teremos a estrutura representativa do significado dada por

quebrar(sujeito(pedra))

pois, pela Regra 1, os casos nominativo e instrumental serão descartados por serem opcionais e a lacuna do caso acusativo será preenchida com o sintagma nominal A pedra, que ocupa a função de sujeito.

Regra 2: Os objetos dos verbos são achados lendo-se a sentença da esquerda para a direita e ocorrem sem preposições. Por exemplo:

"A pedra quebrou a janela."

Neste caso, o sujeito corresponde ao caso instrumental (A pedra) e o objeto corresponde ao caso acusativo. A estrutura resultante da análise será

quebrar(objeto(janela),
instrumento(pedra)).

Regra 3: Os casos restantes são marcados por preposições. Cada verbo terá uma ou mais preposições definidas como requisição verbal. Por exemplo:

"Ana quebrou a janela com uma pedra."

Pela Regra 1, preenchemos a lacuna correspondente ao caso nominativo com o constituinte Ana. Pela Regra 2, tomamos janela como caso acusativo e pela Regra 3, tomamos pedra como instrumento da ação, devido à preposição com. Assim, temos a seguinte representação:

```
quebrar(objeto(janela),  
          instrumento(pedra),  
          sujeito(Ana)).
```

Quando for permitido ao verbo ser combinado com mais de uma preposição, a estrutura de casos correspondente deve especificar essa característica.

Obviamente, para se achar os constituintes adequados para preencher as lacunas, além de se aplicar as regras acima, é necessário especificar as características semânticas que um constituinte deve ter. Portanto, a semântica deve ser rigorosa, permitindo análise precisa das sentenças. Por exemplo:

"João acendeu o fogo com um isqueiro."

"João acendeu o fogo com cuidado."

Na primeira sentença, a preposição com introduz o caso instrumental:

acender(objeto(fogo),
instrumento(isqueiro),
sujeito(João)).

Na segunda, a mesma preposição introduz uma outra característica de preposições, que não corresponde a nenhum caso já citado. Assim como este, muitos casos existem cujos relacionamentos diferem dos até agora definidos. Devido a isso, Snarr sugere novos casos. Por exemplo:

Maneira: "João acendeu o fogo com cuidado."

Fonte: "A água vem da mina."

Duração: "A febre não abaixou durante três dias."

Cardinalidade: "Ele repetiu a mesma frase por cinco vezes."

Tempo: O livro foi comprado em abril."

Probabilidade: Certamente ela comparecerá ao encontro."

e assim por diante.

Vale notar que Fillmore e Snarr desenvolveram a teoria acima para tratamento da língua inglesa, que, apesar de não possuir tantos casos explícitos (ou superficiais), quanto o latim ou alemão, permite tratamento de alguns casos superficiais do mesmo modo que é feito nessas línguas. O tratamento de casos

profundos, no entanto, vai mais além criando novos casos que refletem a denotação existente quando se trabalha com certas figuras lingüísticas de modos diversos. Estes não possuem vínculos com a formação da língua mas com seu uso e como consequência, podem ser criados à medida em que se fizerem necessários ou em que forem descobertos.

A definição dos casos como predicado (verbo) aplicado a argumentos permite reconhecer sentenças agramaticais de modo bastante claro pois somente se consegue preencher as lacunas se as condições semânticas forem verificadas.

Há várias definições do que vêm a ser os casos associados a um verbo, dentre as quais destacamos:

1. "Um caso é uma propriedade que deve ser usada para diferenciar significados de uma palavra num determinado contexto."
2. "Um caso é uma propriedade que deve especificar de modo único um evento."
3. "Um caso é uma propriedade cujos valores são especificados para determinados tipos de eventos."

[Bruce-75]

A linguagem intermediária baseada nas estruturas de casos mostrou-se abrangente pois permite tratar inclusive conceitos similares e coordenação numa sentença. Teoricamente, a utilização da conjunção coordenativa e exige que tanto o componente esquerdo quanto o direito sejam do mesmo tipo na sentença coordenada em questão. Assim, a sentença

"A garota que está com Paulo e vestido azul é minha amiga."

é incorreta semanticamente, pois os casos associados à preposição com são distintos em ambos os componentes da sentença. No primeiro componente,

"A garota que está com Paulo."

temos um caso profundo que corresponde a companhia. No segundo componente, temos um caso que corresponde a descrição:

"A garota que está com vestido azul ..."

Quando conjugados, estes componentes não são compatíveis semanticamente.

Snarr estabelece uma condição necessária e suficiente para tratamento de conjunções:

Uma sentença do tipo

$$S = X - C1 \text{ e } C2 - Y$$

é gramatical se e somente se, para as sentenças

$$S1 = X - C1' - Y$$

e

$$S2 = X - C2' - Y$$

as seguintes condições se verificam:

1. S1 e S2 são corretas sintaticamente, exceto pela posição correspondente a C1' e C2', nas estruturas sintáticas resultantes.
2. S1 e S2 possuem relações idênticas de casos, ignorando-se C1', C2' e seus subconstituintes.

No exemplo acima, temos:

S = "A garota que está com Paulo e vestido azul é minha amiga."

e as sentenças

S1 = A garota que está com Paulo é minha amiga.

e

S2 = A garota que está com vestido azul é minha amiga.

Embora S1 e S2 sejam sentenças corretas sintaticamente, vemos que a condição 2 não é verificada pois suas relações de casos não são idênticas.

Como exemplos corretos, podemos ter:

"Pedro guia o carro cuidadosa e rapidamente.

"A garota de cabelos louros e olhos azuis está à porta."

No primeiro exemplo, ambos os constituintes da coordenação possuem caso correspondente a modo. No segundo, ambos representam propriedades físicas de um objeto do domínio (garota).

4.2.4 - Conexões

Como já dissemos anteriormente o estudo da viabilidade de representação do conhecimento através de redes de nós que partilham informações teve origem no processamento de informações dos neurônios do ser humano.

Nos modelos neurônicos utilizados em Ciência da Cognição, um neurônio possui uma série de sinapses, que são ligações inibidoras ou ativadoras cuja função é trazer ao neurônio as informações enviadas por outros neurônios ou as informações que são pré-conhecidas no sistema cognitivo humano.

As informações geradas por um neurônio saem dele por um único canal que se ramificará dando origem às sinapses de outros neurônios. Este canal é chamado axônio. A representação esquemática de um conjunto de neurônios pode ser vista na Fig. 1.

FIGURA 1 - Representação de um conjunto de três neurônios do cérebro humano.

Cada neurônio tem a função específica de estabelecer o reconhecimento de um determinado conceito. Para isso, ele combina as informações trazidas por suas sinapses e diz se o conceito foi reconhecido ou não. Para algumas informações essas sinapses serão ativadas enquanto para outras elas serão inibidas. No primeiro caso, a ativação é traduzida por um valor positivo associado à sinapse, enquanto no segundo caso, a tradução é feita através de valores negativos. Esses valores são chamados pesos. De acordo com essa tradução a combinação das informações mediante seus respectivos pesos também poderá assumir um valor positivo ou negativo. Se este valor for negativo, dizemos que o conceito não foi reconhecido pelo neurônio. Caso contrário, o conceito é reconhecido. Numa ou noutra situação, o valor é enviado a outros neurônios através da ramificação do axônio deste neurônio.

A atribuição do peso a uma sinapse num neurônio está relacionada à atribuição dos pesos às outras sinapses no mesmo neurônio. Assim, por exemplo, se tivermos dois conceitos contraditórios enviados por outras fontes de conhecimento, uma das ligações deve ter peso positivo, enquanto a outra deve ter peso negativo, traduzindo a escolha do conceito pela verificação do valor positivo, isto é, o peso positivo deve indicar a prioridade da informação correspondente àquela sinapse sobre a informação da sinapse cujo peso é negativo.

O cálculo do valor atribuído a um conceito é feito levando-se em conta a relação dos pesos das sinapses com os valores das informações que elas trazem. Assim, podemos dizer que o valor que representa a aceitação do conceito será dado pela

relação

$$a_x = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n \quad (I)$$

onde a_x é o valor atribuído ao conceito,

W_i são os pesos de cada sinapse i e

X_i são os valores das informações recebidas pelo neurônio,
através de cada sinapse i ($i = 1, \dots, n$)

Representamos o fluxo das informações através de seus pesos pela Fig. 2.

FIGURA 2 - Fluxo das informações em um neurônio.

Simplificando a noção dada acima, podemos trazer a equação (I) para o plano:

$$ax = W1 X1 + W2 X2 \quad (II)$$

Esta equação traduz a configuração de um neurônio cujo axônio carrega o valor ax e possui somente duas ligações de ativação/inibição (duas sinapses). Ao procurarmos saber se o conceito associado ao valor ax deve ser ativado na entrada de outro neurônio queremos na realidade, saber se ax é positivo ou negativo, ou seja, se ele é aceito ou recusado.

Podemos representar a equação (II) no plano tomando a reta:

$$ax = W1 X1 + W2 X2 = 0$$

que o dividirá em dois semi-planos A e B. Diremos que para $(X1, X2) \in A$ teremos ax positivo e para $(X1, X2) \in B$ teremos ax negativo. Sua representação geométrica pode assemelhar-se à Fig. 3 dada abaixo

FIGURA 3 - Representação do conceito ax associado a um neurônio simplificado, com duas sinapses.

Suponhamos agora que temos dois neurônios cuja função é reconhecer um mesmo conceito. Esses neurônios receberão as mesmas informações mas o processo de busca do reconhecimento diferirá de um para outro. Em outras palavras, embora as informações sejam as mesmas, pelo menos um peso associado a uma sinapse de um neurônio será diferente do peso associado à sinapse do outro neurônio, que recebe a mesma informação.

Vamos representar a configuração delineada acima por um barramento, onde cada informação deste corresponde à entrada de uma sinapse. Delineamos esta representação pela Fig. 4.

FIGURA 4 - Representação do envio de informações a neurônios que interpretam o mesmo conceito de dois modos distintos.

Nesta figura, cada neurônio possui duas entradas que representam as sinapses. Tomando o neurônio 1 e o neurônio 2, as suas entradas terão valores W_i e W_i' ($i = 1, 2$), respectivamente. Esses valores correspondem portanto aos pesos das ligações de ativação/inibição.

As saídas do neurônio 1 e neurônio 2 corresponderão às medidas de compreensão das informações X_1 e X_2 a eles enviadas, interpretadas de modos distintos por um e outro.

Chamemos essas medidas de ax_1 e ax_2 , respectivamente, e vamos representá-las no nosso exemplo pelas equações

$$ax_1 = W_1 X_1 + W_2 X_2 \quad (III)$$

$$ax_2 = W_1' X_1 + W_2' X_2 \quad (IV)$$

Estas medidas serão informações enviadas às sinapses de um neurônio particular (neurônio 3), responsável somente por somá-las a fim de concluir pela aceitação ou recusa das conclusões obtidas pelos neurônios 1 e 2. O neurônio 3 possui pesos de ligação unitários e serve para relacionar as conclusões obtidas através de duas linhas de raciocínio distintas. Essa relação será dada, portanto, pela equação

$$ax = ax_1 + ax_2$$

Dizemos que a interpretação está completa ao obtermos este valor ax . Logo, o agrupamento dos neurônios 1, 2 e 3 representa a interpretação de um único conceito neste nosso exemplo.

Se o fluxo de informações tiver por objetivo a aceitação de um conceito, esta será afirmada com o valor positivo de ax

e negada caso contrário.

Suponhamos agora que este fluxo tenha por objetivo determinar o valor dos pesos que devemos associar a cada sinapse, num processo de aprendizado de novos conceitos onde as informações enviadas no barramento correspondem ao conhecimento que um sistema computacional deve adquirir. Na verdade, queremos adequar os pesos relacionados às sinapses ao conhecimento que o sistema deve conter.

Como exemplo, vamos adotar a notação de Waltz, onde ligações incompatíveis são representadas por

e ligações compatíveis por

[Pollack-86]

para representar uma rede de conexões para a palavra raposa, dada pela estrutura da Fig. 5.

FIGURA 5 - Rede de conexões para a palavra raposa.

Sabemos que as informações ativadas nessa estrutura são verídicas. Em relação à Fig. 4, estas correspondem a cada entrada de um barramento. Adaptando a Fig. 4 para este exemplo e supondo que temos três modos distintos para representar o conceito rapo-
sa, teremos a representação da Fig.6.

FIGURA 6 - Representação do conceito raposa obtido por três linhas de raciocínio distintas.

Já que as informações introduzidas no barramento são verídicas e que os neurônios devem ser capazes de interpretar o conceito desejado, concluímos que o valor C resultante deve ser positivo, isto é, o neurônio deve dizer que a interpretação leva ao conceito raposa. Suponhamos que ao ativar o processo de compreensão, no entanto, obtenhamos um valor negativo para C . Como este é um processo de aprendizado, neste caso podemos dizer que os neurônios não "aprenderam" a reconhecer este conceito de modo correto. Em outras palavras, as sinapses não foram aceitas como representantes do conceito, embora saibamos que elas são verdadeiras. Logo, a falha encontra-se na escolha dos pesos que medem as ligações e conseqüentemente, estes devem ser reformulados.

Como nosso modelo é traduzido matematicamente, vamos procurar ajustá-lo do mesmo modo, tentando enquadrar o ponto correspondente ao valor negativo de C no plano que alterará esse valor para um valor positivo. O ponto em questão corresponde neste exemplo às informações: quadrúpede, carnívoro, etc., que juntas nos dão o conceito sobre o animal raposa. Neste caso, ax corresponde à equação de um n -plano. Para enquadrar esse ponto num setor que dê o valor positivo de ax , efetuaremos um movimento de rotação desse n -plano.

Para tornar mais simples essa idéia, vamos voltar à nossa representação da Fig. 3, no plano e vamos representar a rotação pela Fig. 7.

FIGURA 7 - Rotação de um plano para que o valor ax mude de sinal.

Esta alteração é obtida ao alterarmos o coeficiente angular da reta

$$ax = W1 X1 + W2 X2$$

obtendo

$$a'x = W1'X1 + W2'X2 = 0$$

onde $W1'$ e $W2'$ são calculados de modo a alterar o sinal de ax para positivo, cujo resultado é $a'x$. Para que essa modificação não interfira em processos de interpretação de conceitos por outros neurônios, vamos tomar o ponto $x = (x1, x2)$ cujo valor aP é negativo e é o menor em valor absoluto, dentre todos os outros resultados negativos obtidos por outros neurônios. Tomar o ponto cujo valor ax correspondente é o menor em módulo significa tomar o ponto cuja distância d à reta $ax = 0$ é mínima. Ao determinar este ponto, alteramos os valores Wi correspondentes de modo a obter o resultado positivo desejado. Assim, estamos alterando o comportamento de um único neurônio e garantimos a integridade na obtenção da informação.

Ao fim deste processo teremos os novos pesos $W1'$ e $W2'$ associados ao neurônio cujo comportamento foi alterado e conseqüentemente, teremos um novo valor que deve ser carregado pelo axônio correspondente: $a'x = W1'X1 + W2'X2$. Com essa nova informação, o resultado do neurônio "somador" pode ser um conceito aceitável ($C > 0$). Caso isto não ocorra, o processo é repetido iterativamente até que o valor C seja positivo. Podemos garantir a convergência deste processo num número finito de passos, pois tomamos a cada iteração sempre o ponto de conflito de menor

distância à reta.

Este modelo representa um dos modos de se utilizar MCs no processo de aprendizado da máquina. Após ajustar os pesos correspondentes às sinapses, os conceitos são considerados conceitos assimilados por ela e podem ser utilizados num processo de comunicação.

Ainda vale ressaltar que, sendo o número de sinapses no cérebro humano da ordem de bilhões, a representação dos valores atribuídos aos conceitos e dos respectivos pesos equivalerá à equação de um hiperplano, que será "rodado" de modo análogo à rotação da reta na busca dos pesos que devem traduzir a realidade da interpretação.

Para completar nosso MC dado como exemplo pela rede de conexões da palavra raposa, vamos representar do mesmo modo a palavra homem e, em seguida, a sentença

"O homem é uma raposa."

com suas respectivas representações de conceitos.

FIGURA 8 - Rede de conexões para a palavra homem

FIGURA 9 - Rede de conexões para a sentença "O homem é uma raposa."

Para a representação do significado da sentença acima precisamos unir as características de todos os constituintes da mesma, que são dadas já através da somatória de propriedades de cada um. No caso, teremos duas somatórias, uma de propriedades de homem e outra de raposa, que serão informações de entrada para um segundo barramento criado para reconhecer a sentença. Isto é evidenciado pela Fig. 10.

FIGURA 10 - Representação do significado da sentença "O homem é uma raposa."

O verbo ser dá ênfase ao sujeito da sentença onde ele ocorre. Assim, na conexão atribuiremos pesos maiores ao neurônio que recebe as características de homem (neurônio-H).

Nos neurônios H e R, vários conceitos são sobrepostos, isto é, homem e raposa possuem características comuns que não auxiliam na compreensão. Estas serão eliminadas com a ênfase atribuída ao conceito homem, pois todo conceito ativado no neurônio-H terá peso muito maior que o correspondente conceito ativado no neurônio-R. Outros conceitos são ativados num neurônio e inibidos no outro. Por exemplo, a característica de "ter rabo" é ativada no neurônio-R e inibida no neurônio-H.

Haverá características de raposa que não estão inibidos no neurônio-H. É o caso de astúcia, por exemplo. Neste caso, como ela não é eliminada pelos aspectos humanos, ela passa pelo neurônio-H e é assumida como propriedade do homem também.

Desse modo, concluímos que o conceito da sentença corresponde a "O homem é um animal astuto."

De acordo com Waltz [Pollack-86], a rede de nós pode ser formada por qualquer tipo de constituinte de uma frase, seja ele elementar ou não. Além do valor do elemento os nós carregam informações tais como seu significado, seus possíveis complementos, enfim, suas características intrínsecas. É possível que uma palavra possua mais de um significado. Neste caso, todos eles são também acoplados ao nó em questão.

Para a construção do grafo de Waltz há uma integração entre as fontes de conhecimento sintático, semântico e pragmático, que permitem ativar ou desativar as ligações entre os nós. Assim, para saber qual (ou quais) as conexões permitidas entre os

nós no processo de busca da solução, são associados os pesos a cada arco do grafo, de modo a representar os elementos que são compatíveis ou incompatíveis. Esta diferenciação se baseia nas características de ordem semântica e/ou pragmática. A construção desse grafo é iterativa, de modo que, a cada nível de expansão com vistas à interpretação, é possível reavaliar as ligações até então assumidas. Essa avaliação também é baseada nas medidas de ordem semântica e pragmática, que podem ser computadas utilizando-se as informações que o nó carrega. Dessa forma, ao fim do processo tem-se o caminho da solução, que é um conjunto de nós bem conectados. O restante dos nós disponíveis para o processamento é considerado inativo, com pesos correspondentes negativos.

Logo, qualquer processo de extração do significado de sentenças corresponde a uma dissimulação de atribuições entre os nós da rede.

Tanto as atribuições de ativação quanto as de inibição ocupam funções importantes no processo global de compreensão.

No modelo de Waltz as ligações de ativação podem ocorrer entre:

- uma estrutura de frase e seus constituintes,
- palavras e seus significados possíveis,
- casos e seus marcadores,
- interpretação sintática e correspondente interpretação semântica.

As ligações de inibição ocorrem entre:

- estruturas que partilham constituintes (estas são mutuamente exclusivas). Por exemplo: o nado corresponde a um sintagma nominal, o que exclui a ocorrência de nado num sintagma verbal.
- nós que representam categorias léxicas distintas para uma mesma palavra. Por exemplo: nado como substantivo ou como verbo.
- nós que representam conceitos distintos para uma mesma palavra. Por exemplo: manga como fruta ou como parte de vestuário.
- nós que representam casos conflitantes. Por exemplo: racional ou irracional.

Com essa explanação vemos que os MCs são a tentativa de se diminuir a diferença entre o comportamento humano e o computacional. No seu projeto procura-se aplicar as técnicas básicas de inteligência artificial utilizando-se a busca em grafos bem conectados, onde as conexões relacionam-se à medida de senso comum do ser humano. Para que esse projeto corresponda ao desempenho dos neurônios é necessário acoplar-se vários processadores que manipulem bilhões de informações, tal e qual o faz a rede neurônica do cérebro humano. Atualmente há algumas máquinas conexionistas que buscam características próximas à realidade, porém elas apresentam falhas no processo de compreensão.

A ocorrência dessas falhas é um fator ruim de comparação entre as máquinas e o cérebro humano. Este dificilmente erra em interpretações. Logo, a desvantagem continua sendo da máquina.

Será que um dia esse processo poderá se inverter ?

CAPITULO V

UMA INTERFACE EM LINGUAGEM NATURAL PARA RECUPERAÇÃO DO CONHECIMENTO

Apresentação do Trabalho

5.1 - Introdução

A construção deste sistema visa criar condições para que um individuo possa solicitar informações ao computador em sua própria linguagem.

O sistema trabalha com uma sentença por vez, no esquema de consulta/resposta, onde a consulta é realizada pelo usuário na forma de sentenças interrogativas e a resposta é fornecida pelo sistema. A função do sistema é unicamente entender as requisições do usuário e respondê-las. Seu conhecimento é restrito e diz respeito a um conjunto de referências bibliográficas de periódicos. Estas referências não contêm somente as informações usuais encontradas num catálogo simples, mas também informações quanto ao conteúdo da obra. As referências versam sobre Física da Matéria Condensada, mas não houve razões de caráter profundo que nos levassem a escolher este assunto. Na realidade, pensamos que o trabalho computacional de compreensão de linguagem natural quando tratamos de referências bibliográficas não é tão complexo quanto o trabalho dispendido ao tratarmos de assuntos do cotidiano, pois o tipo de sentenças que se pode formular com respeito ao assunto em questão é bem característico: podemos requisitar informações sobre uma obra de determinado autor, sobre o ano de publicação de certa obra, etc., e não fugimos desse padrão, o que facilita a

definição do léxico do sistema.

As informações sobre o conteúdo da obra, que são conjugadas à referência propriamente dita, transmitem conhecimento, por exemplo, sobre o sistema físico em estudo, os métodos físicos utilizados para estudá-lo, os resultados obtidos como produto da pesquisa em questão, etc.. Além dessas informações, relacionamos ainda informações sobre as referências citadas na obra e sobre sua edição. Por exemplo: se é uma coletânea de vários artigos realizada por um ou mais editores, caso em que os nomes dos editores são explicitados, ou o nome da editora responsável pela publicação da obra.

A inclusão dessas informações foi realizada com o objetivo de enriquecer o vocabulário e destina-se aos interesses de um usuário que busca informações específicas. Estas informações foram incluídas sem a preocupação de pertencerem à realidade. Somente o que diz respeito à Física pode ser considerado como informação real.

A representação do conhecimento é declarativa e tem como base a definição relacional. A implementação do protótipo é realizada em micro-computador compatível com IBM-PC, na linguagem de programação Prolog [Clocksin-81].

Assim como o sistema SHRDLU, este sistema busca informações através de um procedimento de prova. Este comportamento é possível devido à utilização do interpretador Prolog. Quando o sistema busca informações num ambiente restrito e não as encontra, uma falsidade por falha é produzida na busca da solução. Neste caso o sistema responde ao usuário dizendo-lhe que não há resposta conhecida para sua requisição.

Este sistema acessa sua base de conhecimento após transformar a pergunta do usuário numa estrutura interna que corresponde à sua interpretação e que é obtida utilizando-se algumas técnicas de análise definidas no capítulo II. Esta estrutura é dividida em duas sub-estruturas cujas informações traduzem o ponto de dúvida da sentença, ou a parte da sentença que corresponde à informação que o usuário deseja saber, e as informações explícitas, que servem de direcionamento para a busca da resposta de modo pertinente ao contexto.

Essa estrutura interna pode ser diretamente interpretada pelo Prolog, que utiliza as informações explícitas para buscar as informações desejadas. A configuração do sistema é modular e será detalhada a seguir.

5.2 - Arquitetura do Sistema

Os principais módulos deste sistema são o de análise, acesso ao conhecimento específico e interação com o usuário. Além destes, há módulos auxiliares responsáveis por gerenciar o processo de interação, criando condições para a interação com o usuário, e módulos que manuseiam o léxico.

Vamos comentar esses módulos a seguir.

5.2.1 - Análise de sentenças

Vamos também dividi-la em fases:

A. Análise léxica

Como já descrevemos no capítulo II, a análise léxica envolve o agrupamento dos caracteres em itens. Nosso sistema agrupa-os exatamente da maneira lá exemplificada, exceto quanto ao delimitador da sentença, que não é enviado como item léxico para a fase seguinte de análise, pois a requisição do usuário é realizada somente na forma interrogativa. No assunto específico de referências bibliográficas, como os nomes próprios são muito frequentes, criamos um procedimento que permite que o usuário introduza um nome próprio incompleto, que é traduzido para o correspondente nome completo. Este nome completo deve figurar em qualquer estrutura resultante dos processos de análise subsequentes.

Assim, por exemplo, se ao sistema for realizada a pergunta:

"Qual o ano em que Shikin obteve o resultado de Termodinâmica?"

sua tradução léxica corresponderá à estrutura em lista do Prolog dada por:

```
['Qual',o,ano,em,que,'Shikin,B.',obteve,o,resultado,de,  
      'Termodinâmica']
```

Esta estrutura será a entrada para o processo de análise sintática.

B. Análise sintática e semântica

As regras sintáticas correspondem a um subconjunto das regras da gramática portuguesa, modificadas somente para que seja possível representá-las computacionalmente e obter resultados no processo de análise. Sua definição é feita através das regras de produção, cuja sintaxe é sugerida por Pereira em [Pereira-80] e traduzida para gramática de cláusulas definidas (GCDs) no início da interação.

Este subconjunto restringe-se à definição de como se pode analisar sentenças interrogativas do tipo quem, qual, quais, e compreende o tratamento de sintagmas preposicionais modificadores de nomes ou frases e o tratamento de sentenças restritivas (relativas). Em alguns casos, o analisador procede de modo a transformar os itens léxicos resultantes da análise léxica em outros itens que permitam uma busca mais direta da interpretação,

traduzindo um comportamento de gramática transformacional. Por exemplo, a regra

```
inter(S) --> term(expr_inter,E,L) ,  
             adicione(L) ,  
             sn(P,sx) ,  
             {S = ..[E,P]}.
```

indica que o item léxico correspondente à expressão interrogativa, reconhecido no início da sentença em análise, deve ser substituído na própria sentença por um conjunto de itens. Este conjunto é dado por uma lista (L) e a estrutura resultante deve ser reconhecida como um sintagma nominal. Este caso envolve o tratamento de palavras que já carregam um significado implícito. Por exemplo, a palavra Quem quer dizer "Qual a pessoa", de um modo geral. No nosso caso particularmente, Quem pode ser substituído pela expressão "Qual o autor", pois temos autor como uma pessoa no contexto de referências bibliográficas. Para rearranjar a lista de itens léxicos de forma conveniente para a implementação, Quem é substituído por "um autor que". Assim, toda transformação de sentenças interrogativas que se iniciam pelo pronome quem gera uma frase nominal, pois "relativiza" a frase interrogativa inicial.

Os símbolos terminais da gramática, que correspondem aos símbolos do vocabulário disponível para a interação, constituem um conjunto independente das regras sintáticas, de modo que se quisermos alterá-lo, não precisamos alterar a definição das regras gramaticais.

No processo de análise, a busca da interpretação das sentenças corresponderá à prova de que é possível declará-las como sentenças. Ao conseguirmos prová-las, teremos uma estrutura completa associada à prova, cuja configuração será vista adiante. Para que o procedimento de prova termine, devemos ter axiomas, que no caso da análise gramatical correspondem exatamente aos símbolos terminais pertencentes ao vocabulário.

A análise semântica prossegue em conjunto com a sintática, permitindo que o conteúdo semântico da sentença seja introduzido na estrutura que representará o significado através de inserções de palavras (ou estruturas) que carregam o significado dos itens léxicos (ou de grupos de itens léxicos). Desse modo, é possível relacionar aspectos da linguagem à medida em que a análise reconhece elementos e sub-estruturas constituintes da sentença. Por exemplo, em

$$\begin{aligned} sp(Conc, S, sx) \quad \rightarrow \quad & term(preposition, P) , \\ & sn(S1, sx) , \\ & \{semant_prep(P, Conc, S1, S)\}. \end{aligned}$$

dizemos que, ao reconhecer um sintagma nominal demarcado por uma preposição (P), sua estrutura correspondente (S1) deve modificar um conceito (Conc), que pode ser um outro sintagma nominal ou uma frase, pois sintagmas preposicionais modificam nomes ou frases em nosso domínio de discurso. Essa modificação baseia-se nas restrições semânticas impostas pela preposição aos constituintes (que são sub-estruturas). O programa que se incumbe de verificar essas restrições é chamado aqui de `semant_prep`, que é um programa auxiliar embutido nas regras gramaticais de acordo com a notação

de Pereira.

Realizando a análise semântica simultaneamente com a sintática o sistema pode rejeitar construções indevidas, interrompendo o processo de compreensão antes de terminá-lo. Essa característica é boa no sentido de que o sistema não dispende esforço excessivo quando encontra sentenças cujo significado não pode ser reconhecido por ele. Tratamento similar é realizado por alguns sistemas de processamento de linguagem natural já citados por nós.

Pelo fato da semântica trabalhar em conjunto com a sintaxe, o resultado da análise não é uma representação em árvore sintática mas uma estrutura que representa o significado da sentença, ou seja, uma estrutura-chave.

Ao ser interpretada pelo procedimento de resolução do Prolog, essa estrutura fornece elementos de resposta que devem ser enviados ao usuário. Esses elementos são obtidos pelo processo de unificação.

Como o tratamento semântico para a representação do significado exige maior atenção, voltaremos a falar dele no item (5.3).

C. Análise pragmática

O processo de análise neste protótipo não engloba o tratamento pragmático profundo, pois não prevê o uso das palavras de acordo com as intenções do usuário a cada momento. Como mencionamos no capítulo II, tomamos como pragmática seu sentido bastante simplificado que é traduzido pela busca das informações pertinentes ao contexto para a geração de respostas coerentes.

5.2.2 - Acesso ao conhecimento específico

Neste sistema consideramos como nomes próprios todos os valores constantes definidos na base de dados, que é constituída somente pelas referências bibliográficas que servem de dados para o módulo de conhecimento. Assim, teremos os nomes de autores, de revistas, de editores, e também os nomes de anos (que são números), títulos de obras, sistemas aproximações físicas, etc. como nomes próprios. Tomemos uma referência dessa base como exemplo, dada por uma relação representada por um átomo onde seu funtor é o nome da referência:

```
r1(autor('Cole,M.W.'),
    refer(revista('Phys.Rev.'),
          vol('B3'),
          numero(4418)),
    ano(1971),
    titulo('Electronic Surface States of Dielectric Film
           on a Metal Substrate'),
    sistema('Filmes de helio'),
    aproximac('EMA'),
    resultado('Energia de ligacao/excitacao'),
    editor('Sant-Dizier'),
    editora('Atica'),
    citacoes([r3,r7])).
```

Aqui, através do símbolo de predicado r1, relacionamos todos os tipos de nomes próprios constantes da base de dados.

Ao reconhecer nomes próprios como símbolos terminais o léxico fornece também esses tipos, acoplados a cada nome. Assim, por exemplo, se o item léxico que queremos reconhecer é o nome

'Shikin,B.'

o léxico traz a especificação do significado deste item:

autor: 'Shikin,B.'

Chamamos essa especificação do significado de tipagem da informação correspondente ao item léxico.

Além dessa informação o processo de análise fornece informações sobre construções verbais ou preposicionais na sentença através da construção de átomos.

Basicamente, como resultado da análise de constituintes da sentença temos somente esses dois tipos de estruturas: uma, tipada, que corresponde a um nome próprio e outra, representada por um átomo, que corresponde a uma ação ou a uma modificação sugerida por uma preposição, seja essa modificação relacionada a um nome ou a uma frase. Na construção da estrutura-chave da sentença essas informações são conjugadas numa única expressão, que é a representação lógica dos conceitos extraídos da mesma.

Para tornar mais clara esta exposição tomemos um exemplo de pergunta na interação do sistema com o usuário:

"Quem publicou artigos de 1980 ?"

Teremos como estrutura-chave a fórmula

```
existe(autor:A, autor:A e artigo:Ar e  
ano:1980 e  
data(artigo:Ar, ano:1980) e  
publicar(C, autor:A, artigo:Ar)).
```

(*)

que segue o padrão das estruturas-chave no sistema:

```
existe(Tp:X, Conjunção),
```

onde Ip:X é a informação procurada, de valor X e tipo Tp, e Conjunção é a informação fornecida na sentença do usuário, que inclui também a informação procurada, conjugando-a às demais estruturas fornecidas pelo analisador.

Vemos que na fórmula acima cada entidade correspondente a um nome próprio, mesmo que desconhecido, é tipada. Ainda, além dessas informações tipadas, a fórmula só contém átomos referentes às informações contidas na sentença, que no caso acima correspondem ao ano do artigo (data), introduzido pela preposição de, e à ação de publicar, que relaciona sujeito e objeto através de um conceito C. Este conceito será explicado mais tarde.

Assim definidos os constituintes da estrutura-chave, podemos interpretá-la através da expressão de nome Conjunção que, submetida ao interpretador, faz a correspondência dos constituintes com as informações que o sistema conhece. Este elo é definido no sistema com base nas operações de acesso ao conhecimento específico. Portanto, cada possível formulação do significado de sentenças corresponde a um conjunto de regras de acesso ao conhe-

cimento. Devido a essa constituição da estrutura-chave a interpretação é verdadeira somente quando as condições embutidas em seu segundo argumento são verdadeiras. Neste caso, conhecemos o valor X, de tipo Tp, que deve ser dado em resposta à requisição do usuário, pois este ocorre também na expressão Conjunção.

5.2.3 - Módulo de interação

O módulo de interação do protótipo é bastante simples. Fornece recursos para que o usuário introduza suas perguntas e ativa os módulos restantes, que são basicamente os de análise e de acesso ao conhecimento específico. Acoplamos a este módulo um módulo de interpretação da estrutura-chave, que somente acrescenta condições à mesma para que a resposta seja dada ao usuário de modo conveniente e pseudo-natural. A estrutura resultante é submetida ao interpretador Prolog e fornece as devidas respostas assim que a interpretação é completada. Como exemplo, para a estrutura-chave (*) temos a seguinte representação em lista:

```
[findall(A,existe(autor:A,autor:A e artigo:Ar e
                                ano:1980 e
                                data(artigo:Ar,ano:1980) e
                                publicar(C,autor:A,artigo:Ar)),L),
 sort(L,[PIR]),
 guarde(resp,R),
 responder(P)].
```

Esta lista é submetida ao interpretador através de um programa auxiliar contido nesse módulo e as ações corres-

pondentes são geradas, dentre as quais a ação de resposta dada pelo programa responder. As demais ações visam processamento posterior e não vamos comentá-las neste tópico.

O processo de interação é supervisionado por este módulo até que o usuário o encerre.

5.2.4 - Outros módulos do sistema

Ainda fazem parte da arquitetura do sistema os módulos que lhe dão suporte operacional. São eles:

A. Módulo de consulta

Este módulo traz para a memória as informações sobre as referências bibliográficas propriamente ditas, sobre os verbos e sobre as possíveis combinações entre nomes para compor os nomes próprios.

B. Dicionário

É de responsabilidade deste módulo construir as estruturas que armazenam as informações sobre os substantivos comuns e verbos. Os substantivos comuns são pré-definidos pelo projetista juntamente com sua estrutura semântica dirigida ao acesso ao conhecimento. Por exemplo, o substantivo comum revista é definido juntamente com a estrutura semântica revista:R num dicionário de substantivos. R é uma variável que deve ser instanciada durante a interpretação do significado.

O dicionário de verbos toma as informações já consultadas pelo módulo de consulta e gera também as respectivas informações semânticas voltadas ao acesso ao conhecimento.

C. Biblioteca

Este módulo contém poucos programas de caráter geral, que podem ser utilizados por qualquer outro módulo.

D. Módulo de inicialização

Este módulo ativa o processo de interação, deixando o sistema pronto para que o usuário requisite suas informações. Antes disso porém, são consultados todos os arquivos que contêm os módulos aqui discriminados.

5.3. - Fundamentos teóricos

Como o tratamento sintático de interfaces em linguagem natural já foi bastante comentado neste trabalho, vamos restringir-nos a falar sobre a teoria semântica que fundamenta o projeto desta interface. Teoria semelhante a esta que devemos estudar mais detalhadamente encontra-se em [McCord-87].

Quando trabalhamos com bases de dados relacionais, introduzimos dois elementos ao redor dos quais gira todo o processo de formação de estruturas representativas do significado (estruturas-chave): um conjunto de indivíduos (D) e um conjunto de símbolos relacionais (R).

Os símbolos relacionais no nosso contexto correspondem ao significado dos verbos e às informações obtidas como ligações causadas pelas preposições. Um indivíduo é sempre tipado e corresponde à estrutura $Tp:X$, onde X é constante ou variável e Tp é um dos tipos que são atribuídos a constantes no nosso domínio.

Sejam os seguintes conjuntos:

- D: de constantes ou indivíduos conhecidos;
- V: de variáveis ou indivíduos desconhecidos;
- R: de símbolos relacionais;
- C: de conectivos;
- Q: de quantificadores;
- F: de fórmulas aceitáveis;
- T: união de D e V.

e sejam os seguintes símbolos pertencentes aos referidos conjuntos:

$$\begin{aligned}
 p, q &\in R; & i, i_1, i_2, \dots, i_n &\in T; \\
 e &\in C; & x &\in V; \\
 \text{existe} &\in Q; & f_1, f_2 &\in F.
 \end{aligned}$$

As fórmulas aceitáveis no nosso domínio de discurso podem ser definidas sintaticamente:

Def. 1: Para os símbolos gerais definidos acima,

1.a.) $f = p(i_1, i_2, \dots, i_n) \in F.$

Neste caso f é chamado literal.

1.b.) $f = f_1 \text{ e } f_2 \in F.$

1.c.) $f = \text{existe}(x, f_1) \in F.$

Por um abuso de construção permitimos que um indivíduo tipado corresponda também a uma fórmula. Assim, definimos ainda:

1.d.) $f = i \in F.$

Neste caso, chamamos f de estrutura tipada.

Chamamos de fórmula válida toda fórmula aceitável f ($f \in F$) tal que f é livre de variáveis. A semântica das fórmulas válidas é definida por:

Def. 2: Dado o conjunto I de todas as fórmulas cujas interpretações são verdadeiras,

2.a.) $f = p(i_1, i_2, \dots, i_n)$ é válida se $f \in I.$

2.b.) $f = f_1 \text{ e } f_2$ é válida se

f_1 é válida e f_2 é válida.

2.c.) $f = \text{existe}(x, f1)$ é válida se, para algum $x \in V$,
 $f1$ é válida.

2.d.) $f = i$ é válida se $f \in I$, onde i é uma variável
tipada.

Nosso objetivo é avaliar uma fórmula geral que obedeca as regras sintáticas da Def. 1. Como resultado da avaliação, teremos um valor verdadeiro ou falso que determina se a fórmula pertence ou não ao conjunto I e permite ao sistema fornecer a resposta adequada ao usuário.

No protótipo redefinimos os conjuntos acima por:

- D: nomes próprios constantes da base de dados;
- V: variáveis;
- R: símbolos relacionais. Constitui-se dos símbolos relacionados a verbos e aos casos de ligações preposicionais possíveis entre os elementos do conjunto T;
- C: conjunto unitário - {e};
- Q: conjunto unitário - {existe}. Equivale semanticamente aos determinantes do nosso vocabulário (artigos, no caso).
- F: fórmulas aceitáveis;
- T: união de D e V.

Este sistema trabalha baseado em perguntas do tipo quem, quais, etc., que exigem a nomeação dos indivíduos que figuram na fórmula lógica (ou estrutura-chave). Para este tipo de perguntas, a estrutura-chave é sempre uma fórmula quantificada, como já vimos no item (5.2.2.):

$\text{existe}(Tp:X, \text{Conjunção}) \quad (*)$

A quantificação neste caso prevalece sobre todas as variáveis livres.

Quando utilizamos o pronome qual no plural, na verdade obtemos uma estrutura-chave quantificada por existe, mas cuja interpretação deve ser equivalente à quantificação universal

$\text{todo}(\text{Tp:X,Conjunção})$

Como nossa sintaxe não prevê o quantificador universal, discriminamos essa informação pela introdução do tipo da pergunta como funtor da fórmula (*). Este tipo será g se o usuário buscar uma resposta e qs se ele desejar todas as respostas possíveis:

$q(\text{existe}(\text{Tp:X,Conjunção}))$

ou

$qs(\text{existe}(\text{Tp:X,Conjunção})).$

O próprio intérprete se incumbirá de verificar esses tipos, introduzindo condições de prova que permitam buscar um ou todos os elementos do conjunto de constantes que tornem a fórmula correspondente válida.

No nosso protótipo trabalhamos com verbos transitivos diretos ou intransitivos. As fórmulas lógicas cujos símbolos de predicado correspondem aos verbos terão três ou dois argumentos, respectivamente. Isto porque o primeiro argumento de todo verbo corresponde a um conceito. Na estrutura-chave este conceito aparece em todo literal que tenha relação com o verbo e serve para

estabelecer a dependência contextual entre as informações extraídas da sentença. Basicamente, esses literais ocorrem quando há modificação do verbo por preposições (modificação de frases), além da predicção do próprio verbo. Por exemplo, o verbo obter terá como estrutura correspondente o literal:

obter(Conc,Suj,Objeto).....

Este literal corresponde à predicção de obter, que é um verbo transitivo direto. Esta categoria gramatical determina o número de complementos do verbo, acrescido de uma unidade pela colocação do conceito (Conc) associado a ele. Neste caso, os complementos são: sujeito (Suj) e objeto direto (Objeto).

Como exemplos da utilização desses conceitos, tomemos uma amostra de interação no nosso protótipo, dada pela Fig.1:

yes
?- interage.

Int: Qual a editora que publicou a revista Phys.Rev. com artigos de Cole ?

Estrutura lexica:

[Qual,a,editora,que,publicou,a,revista,Phys.Rev.,com,artigos,de,Cole,M.W.]

Estrutura-chave:

q(existe(editora : _0659,e(existe(revista : Phys.Rev.,e(editora : _0659,e(e(ar
tigo : _2E91,e(autor : Cole,M.W.,referencia(artigo : _2E91,autor : Cole,M.W.))),
conteudo(publi : _09E5,artigo : _2E91)),e(publicar(_09E5,editora : _0659,revista
: Phys.Rev.),v))),v)))

Resp: Atica.

Int: Qual a aproximacao com que Fetter obteve o resultado de Energia ?

Estrutura lexica:

[Qual,a,aproximacao,com,que,Fetter,A.L.,obteve,o,resultado,de,Energia de ligacao
/excitacao]

Estrutura-chave:

q(existe(aproximac : _0649,e(existe(resultado : Energia de ligacao/excitacao,e(a
utor : Fetter,A.L.,e(e(aproximac : _0649,conteudo(obl : _0EF5,aproximac : _0649)
),e(obter(_0EF5,autor : Fetter,A.L.,resultado : Energia de ligacao/excitacao),v)
))),v)))

Resp: Nao existe resposta..

Int: Qual o autor que obteve o resultado de Blindagem de carga com Hipolito ?

Estrutura lexica:

[Qual,o,autor,que,obteve,o,resultado,de,Blindagem de carga,com,Hipolito,D.]

Estrutura-chave:

q(existe(autor : _7D11,e(existe(resultado : Blindagem de carga,e(autor : _7D11,e
(e(autor : Hipolito,D.,parceria(obl : _8B29,autor : Hipolito,D.)),e(obter(_8B29,
autor : _7D11,resultado : Blindagem de carga),v))),v)))

Resp: Hipolito,D..

Int: Quais as editoras que publicaram a revista que editou os artigos que Cole e
screveu ?

Estrutura lexica:

[Quais,as,editoras,que,publicaram,a,revista,que,editou,os,artigos,que,Cole,M.W.,
escreveu]

Estrutura-chave:

qs(existe(editora : _1415,e(existe(revista : _2EC5,e(editora : _1415,e(publicar(
_17A1,editora : _1415,revista : _2EC5),e(existe(artigo : _4CB1,e(revista : _2EC5
,e(editar(_3AF5,revista : _2EC5,artigo : _4CB1),e(e(autor : Cole,M.W.,e(autor :
Cole,M.W.,e(artigo : _4CB1,escrever(_5FA1,autor : Cole,M.W.,artigo : _4CB1))))),v
))))),v))))),v)))

Resp: Atica, Lisboaense, McGraw-Hill e North-Holland.

Int: fim .

- Ate logo.

yes

FIGURA 1 - Amostra de interaçao no protótipo da interface em
linguagem natural.

No primeiro exemplo o sintagma preposicional

"com artigos de Cole"

modifica a frase

"Qual a editora que publicou a revista Phys.Rev."

A estrutura-chave obtida como interpretação da sentença contém os literais

publicar(C,editora:E,revista:'Phys.Rev.')

que corresponde à predicação do verbo publicar, e

conteudo(publi:C,artigo:A)

que corresponde à modificação do verbo introduzida pela preposição com. A variável C representa o conceito em questão.

Na realidade, a construção de literais desse tipo ou de estruturas tipadas corresponde à determinação das correspondentes lacunas. Essas lacunas são preenchidas no reconhecimento de algum item léxico ou durante a interpretação da estrutura-chave pelo Prolog. Para os verbos, a determinação das lacunas corresponde à determinação dos casos associados a ele. Assim, no exemplo para o verbo obter, os casos associados a ele são o nominativo, cuja lacuna deve ser preenchida por um valor tipado que instancia a variável Suj, e o caso acusativo, cuja lacuna deve ser preenchida com o valor tipado que instancia a variável Objeto. O preenchimento destas lacunas é realizado por um procedimento que trata somente da semântica dos verbos.

Os símbolos de predicado que representam ligações preposicionais entre elementos do conjunto de indivíduos ou entre um verbo e um elemento determinam os casos particulares tomados de acordo com o assunto da nossa base de dados. É o caso de conteúdo e referência, no primeiro exemplo da Fig.1. Estes casos são determinados por um procedimento do tipo

ligação(Prep,F1,F2,Caso)

onde: Prep corresponde à preposição,

F1 corresponde a um elemento $X \in T$ ou a um conceito de verbo,

F2 corresponde a um elemento $X \in T$ e

Caso corresponde ao símbolo relacional que representa a ligação.

Diremos que ligação é uma função que mapeia dois itens léxicos (dois substantivos ou verbo e substantivo) num valor que recebe o nome de caso e varia de acordo com o contexto em questão.

Para o caso particular de acesso à base de dados sobre referências bibliográficas, onde cada uma é nomeada por um símbolo de predicado r_i (i variando de acordo com a quantidade de referências), o conceito associado ao verbo corresponde à identificação da referência. Desse modo, mantemos a interdependência entre as informações contidas na sentença, que devem ser pertinentes à mesma referência, na maioria dos casos.

A interpretação da estrutura-chave

`existe(Tp:X,Conjunção)`

é dada pela sua execução direta pelo interpretador Prolog. A grosso modo, corresponde à definição:

```
existe(Tp:X,Conjunção) se
    executa(Conjunção) e
    executa(Tp:X).
```

```
executa(Tp:X) se
    pertence(Tp:X,D).
executa(Conjunção) se
    verifica(Conjunção).
```

```
verifica(e(F1,F2)) se
    executa(F1) e
    executa(F2).
```

onde D é o conjunto de indivíduos conhecidos, $F1$ e $F2$ são literais ou estruturas tipadas ou conjunções de outras fórmulas.

Quando o interpretador encontra valores que tornam `Conjunção` verdadeira, temos o valor X , de tipo Tp , que é dado como resposta ao usuário.

CAPITULO VI

CONCLUSOES

O período inicial de projeto desta interface compreendeu o estudo das sugestões de vários autores quanto aos métodos computacionais e à estruturação do conhecimento para resolver o problema de compreensão de linguagem natural computacionalmente. Estudos foram realizados também sobre o tratamento da língua portuguesa a fim de procurar retratar com fidelidade as regras de formação de sentenças nessa língua.

Optamos por seguir uma linha de pesquisa voltada à estruturação lógica para a representação do significado das sentenças e por essa razão seguimos a idéia de F.Pereira, adotando a gramática de cláusulas definidas para análise das sentenças.

Restringimos o conhecimento do protótipo ao domínio de referências bibliográficas e montamos uma base de dados com algumas referências completas. Construímos o léxico com um vocabulário bastante limitado, utilizando alguns verbos e substantivos. Os verbos indicam ação, somente. Compõe o vocabulário ainda um segundo conjunto, que contém as palavras auxiliares para a construção de sentenças da língua portuguesa. Palavras pertencentes a este conjunto correspondem às preposições, artigos e pronomes.

Apesar do vocabulário ser bastante restrito, foi possível definir algumas construções de forma a traduzir alguns aspectos do processamento de linguagem natural, tais como:

- o tratamento de sinônimos. Por exemplo: no nosso domínio de discurso as palavras título, artigo e trabalho referenciam-se à mesma entidade (título).

- o tratamento de significados subordinados, onde entendemos por subordinação a ocorrência de uma palavra que já traz implicitamente seu significado (ou tipo associado). Por exemplo: "a revista Phys.Rev.", "o resultado de energia", etc..

- as ligações semânticas introduzidas pelos verbos e pelas preposições,

- a transformação de palavras, introduzindo itens equivalentes com maior poder explicativo,

- o tratamento de frases restritivas.

Quanto à representação do conhecimento e utilização da linguagem intermediária, procuramos colocar em prática as características que julgamos convenientes para construir um modelo cujo desempenho permitisse viabilizar a implantação de uma interface real em linguagem natural para acesso a bases de dados. Assim, nosso protótipo aglomera alguns aspectos de teoria de casos, de interpretação e representação lógica, de quantificação e também de conexões. Embora nosso vocabulário seja bastante restrito, procuramos encontrar um conjunto minimal para traduzir os literais de forma a acessar o conhecimento.

Os casos são embutidos na definição dos verbos e das conexões entre dois nomes ou entre um conceito de verbo e um nome e são detectados durante a análise sintática, pois na nossa

língua eles são marcados pela ordem em que são distribuídos na sentença. Nas conexões entre nomes ou entre um conceito de verbo e um nome os casos são introduzidos por preposições. No nosso trabalho esses casos são definidos de acordo com o assunto. Alguns são criados por conveniência de implementação e nada tem a ver com os mencionados na lingüística.

A representação lógica é introduzida na linguagem intermediária de acesso à base de dados. O próprio conhecimento é declarado logicamente: no léxico, os verbos e as informações de casos mapeiam sobre relações, enquanto o restante das informações das sentenças mapeia sobre os atributos das relações. Também utilizamos procedimento lógico para interpretar as fórmulas na busca de respostas.

A quantificação ocorre sempre sobre o elemento de dúvida do usuário. No entanto, no nosso modelo não distinguimos determinantes definidos dos indefinidos. Como a interface é voltada à consulta, partimos do pressuposto de que tudo é definido. Deste modo, o sistema não faz verificação da validade da entidade quantificada e não consegue recusá-la imediatamente, somente quando acessa a base de dados para interpretar a estrutura-chave correspondente à sentença.

As conexões podem ser consideradas como uma simulação dos neurônios onde as sinapses possuem sempre peso unitário. Em contrapartida, o estabelecimento das regras de preferência de relacionamento entre constituintes de sentenças é realizado de forma explícita. Por exemplo, quando utilizamos o verbo publicar, com complemento direto dado pela palavra revista, o complemento nominativo deve ser editora. Já o verbo calcular exige como caso

nominativo um autor no domínio de discurso. Os pesos unitários não representam uma boa solução, pois o sistema passa a ser intolerante, não sendo capaz de concluir sozinho pela melhor alternativa, a não ser permitindo que o processo de retrocesso busque exaustivamente uma possível solução. Em outras palavras, o sistema não raciocina, trabalha.

Não introduzimos dependência contextual quanto a gênero e número ou quanto à conjugação de verbos mas essas medidas podem ser introduzidas facilmente permitindo a transformação morfológica das palavras na tentativa de adequá-las ao contexto.

Finalmente, não foram tratados vários aspectos da linguagem que são considerados importantes para o processo de compreensão de linguagem natural, a saber: negação, anáforas, paráfrases, ambigüidade, conjunções, disjunções, preposições temporais, comparações, referências pronominais e os quantificadores restantes, que incluem as palavras poucos, muitos, etc.. Ainda, em termos de implementação não foram explorados os recursos disponíveis para o tratamento de grande volume de informações.

Pretendemos modificar o protótipo visando obter um sistema que manipule grande massa de dados e apresente pelo menos parte das construções acima citadas no processo de consulta a bases de dados. Quando se projeta uma interface, embora seja ideal que ela apresente mecanismos de compreensão para todas essas construções, em geral escolhemos aquelas que julgamos aplicáveis para o objetivo da interface, pois a dificuldade é bastante grande para construí-la de modo completo a fim de funcionar como se fosse realmente um segundo interlocutor.

Relacionamos as principais medidas que pensamos que devem ser adotadas para dar prosseguimento a este projeto:

1.) Uniformizar e otimizar a representação computacional das informações.

2.) Criar um mecanismo que permita ao sistema "lembrar-se" de sentenças introduzidas anteriormente pelo usuário. Deste modo, será possível tratar anáforas, fornecendo recursos para que o usuário solicite ou mencione informações referenciadas num contexto imediatamente anterior. Neste caso, seria possível comparar a estrutura-chave da sentença anafórica com a estrutura-chave de sentenças anteriores utilizando regras sintáticas e semânticas para fazer uma correspondência entre as informações contidas na frase. Procedimento similar deve ser estudado para permitir referências anafóricas ou pronominais dentro da mesma sentença.

3.) Para o caso de paráfrases, pensamos ser necessário definir regras gramaticais que permitam obter a estrutura-chave das sentenças parafraseadas que levará a uma interpretação correspondente aos mesmos objetos do domínio.

4.) A resolução da ambigüidade é obtida por critérios de escolha adotados durante a análise. Esses critérios devem ser determinados semanticamente.

5.) O tratamento de negação em sentenças pode ser realizado tomando-se a forma afirmativa correspondente para se obter uma estrutura-chave cuja interpretação determinará as situações que não se deseja mencionar na sentença onde ocorre a negação.

6.) Frases comparadas ou conjugadas devem ser de mesmo tipo. O estabelecimento de uma hierarquia de domínio permitirá obter os tipos similares dos constituintes das sentenças no contexto. Durante a construção da estrutura-chave, ao encontrar uma conjunção é possível interromper a análise e buscar um elemento ocorrido anteriormente cuja categoria gramatical possibilite preencher a lacuna introduzida pela conjunção, se esta lacuna existir. Pode ser que a sentença contenha duas frases completas conjugadas. Neste caso, sua tradução para a fórmula lógica é imediata, pois podemos considerar que cada frase conjugada corresponde a uma condição que deve ser submetida ao interpretador.

7.) O tratamento de informações temporais foge da lógica usual e entra no âmbito da lógica temporal. Não conhecemos essa teoria e sugerimos estudo aprofundado desse assunto.

Podemos ainda pensar em definir regras gramaticais que permitam ao usuário fazer consultas ao sistema através de sentenças interrogativas que não sejam introduzidas por pronomes. Para isso, consideramos também a forma afirmativa das mesmas, e a resposta será do tipo confirmação/recusa.

Sintaticamente consideramos satisfatória a utilização de GCDs para a língua portuguesa, à qual acoplamos ações de modo a construir a interpretação semântica.

Concluimos que a maioria dos problemas encontrados no transcorrer do projeto envolveu aspectos de ordem semântica pois não é fácil traduzir o relacionamento entre os constituintes de sentenças de forma precisa computacionalmente. Na realidade, os problemas são encontrados quando se deseja simular um comporta-

mento real no processo de compreensão.

Fica como sugestão para trabalhos futuros aprimorar as definições de ordem semântica e de representação do conhecimento no protótipo, com conseqüentes alterações da linguagem intermediária.

REFERÊNCIAS

[Bobrow-77]

BOBROW, D.G. et alii - "GUS, A Frame-Driven Dialog System" - Artificial Intelligence, Vol.8, N. 2 (1977), 155-173.

[Bruce-75]

BRUCE, B. - "Case Systems for Natural Language" - Artificial Intelligence, Vol.6, N. 4 (1975), 327-360.

[Carnegie-85]

CARNEGIE GROUP - "Language Craft: An Integrated Environment for Constructing NL Interfaces" - Pittsburgh, PA.

[Chomsky-65]

CHOMSKY, N. - "Aspects of Theory of Syntax", MIT Press, Cambridge, Mass., 1965.

[Clocksin-81]

CLOCKSIN, W.F. and MELLISH, C.S. - Programming in Prolog - Springer-Verlag, New York, 1981.

[Coelho-79]

COELHO, H. - "Interação Coloquial com o Computador - Seminário 253", LNEC, Lisboa, Novembro de 1979.

[Colmerauer-75]

COLMERAUER, A. - "Les Grammaires de Metamorphose" - L.Bolc (Ed.), Natural Language Communication with Computers, Springer-Verlag (May 1978).

[Colmerauer-77]

COLMERAUER, A. - "An Interesting Subset of Natural Language" - Groupe Intelligence Artificielle, Faculté des Sciences de Luminy, Marseille, France, October 1977.

[Feigenbaum-63]

FEIGENBAUM, E.A. and FELDMAN, J. - "Computers and Thought" - McGraw-Hill, New York, 1963.

[Feldman-82]

FELDMAN, J.A. and BALLARD, D.H. - Connectionist Models and Their Properties - Cognitive Science 6, 205-254 (1982).

[Ferreira-75]

FERREIRA, A.B.H. - "Novo Dicionário da Língua Portuguesa" - Ed. Nova Fronteira S.A., Rio de Janeiro, 1975.

[Fillmore-68]

FILLMORE, C. - "The Case for Case" - Universals in Linguistic Theory, Bach and Harms (eds.), New York, (1968), 1-90.

[Hendrix-81]

HENDRIX, G.G. and SACERDOTI, E.D. - "NL Processing - The Field in Perspective", Byte, September 1981.

[Kamins-85]

KAMINS, S. - Instruction Manual Q&A. Version 1.0 - Document N. 1-001, Cupertino: Symantec.

[Lehnert-83]

LEHNERT, W.G. et alii - BORIS - An Experiment in In-Depth Understanding of Narratives - Artificial Intelligence, Vol. 20, N. 1 (1983).

[Lopes-75]

LOPES, E. - "Fundamentos da Linguística Contemporânea" - Editora Cultrix Ltda, São Paulo, 1975.

[Marcus-80]

MARCUS, M.P. - "A Theory of Syntactic Recognition for Natural Language" - MIT Press, 1980.

[McCord-82]

McCord, M. - "Using Slots and Modifiers in Logic Grammars for Natural Language" - Artificial Intelligence, Vol. 18 (1982), 327-367

[McCord-87]

McCord, M.; Sowa, J.F.; Wilson, W.G.; Walker, A.(ed.) - A Logical Approach to Expert Systems and Natural Language Processing - Knowledge Systems and Prolog - IBM T.J. Watson Research Center, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., March 1987.

[Nilsson-82]

Nilsson, N.J. - "Principles of Artificial Intelligence" - Springer-Verlag, 1982.

[Pereira-80]

Pereira, F.C.N. and Warren, D.H.D. - "Definite Clause Grammars for Language Analysis - A Survey of the Formalism and a Comparison with Augmented Transition Networks" - Artificial Intelligence, 13 (1980), 231-278.

[Pereira-81]

Pereira, F. - Extraposition Grammars - AJCL, Vol. 7, N. 4, Oct-Dec, 1981.

[Pereira-83]

Pereira, F. - "Logic for Natural Language Analysis" - Ph.D. Thesis, January 1983.

[Pollack-86]

Pollack, J. and Waltz, D.L. - Interpretation of Natural Language - Byte, Feb 1986.

[Q&A-86]

"Integrated Software with Macros and an Intelligent Assistant (editors) - Byte, January 1986.

[Robinson-65]

ROBINSON, J.A. - "A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle" - JACM 12 (1965), 23-41.

[Schank-75]

SCHANK, R.C. - "Conceptual Information Processing" - Fundamental Studies in Computer Science, Vol. 3 (1975) - North-Holland Publishing Company.

[Schank-77]

SCHANK, R. and Abelson, R. - "Scripts, Plans, Goals and Understanding", Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum, 1977.

[Snarr-85]

SNARR, V.L. - "Theory and Parsing of the Coordinate Conjunction And" - Technical Report CSRI - 171, September 1985, Toronto, Canada.

[Sowa-84]

SOWA, J.F. - "Conceptual Structures - Information Processing in Mind and Machine", Addison-Wesley Publishing Company, 1984.

[Texas-85]

Texas Instruments - "Explorer NL Menu System" - Data Systems Group, Technical Report N. 2533593-0001, Austin, Texas.

[Wahlster-86]

WAHLSTER, W. - "The Role of NL in Advanced Knowledge - Based Systems" - Dept. of Computer Science, University of Saarbrücken, Alemanha.

[Warren-82]

WARREN, D.H.D. and PEREIRA, F.C.N. - "An Efficient Easily Adaptable System for Interpreting Natural Language Queries" - American Journal of Computational Linguistics, Vol. 8, N.3-4, July-December 1982.

[Winograd-72]

WINOGRAD, T. - Understanding Natural Language - Academic Press, New York, 1972.

[Woods-72]

WOODS, W.A. et alii - The Lunar Science Natural Language Information System - BBN Report N. 2378, Bolt, Beranek and Newman, Inc. Cambridge, Mass., June 1972.