

uf

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA E INFORMÁTICA

**“INVESTIGAÇÃO DO COMPORTAMENTO VISUAL DE ALGUMAS ARANHAS
SALTADORAS (SALTICIDAE) EM TERMOS DE MICROMOVIMENTOS”**

DANIELA MAYUMI USHIZIMA

Dissertação apresentada ao Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Ciências “Física Aplicada-opção Física Computacional”

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Fontoura Costa

São Carlos – São Paulo
2000

USP/IFSC/SBI



8-2-001330

IFSC-USP SERVIÇO DE BIBLIOTECA
INFORMAÇÃO

Ushizima, Daniela Mayumi

Investigação do comportamento visual de algumas aranhas saltadoras em termos de micromovimentos/Daniela Mayumi Ushizima. – São Carlos, IFSC-USP, 2000.
134p.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, 2000.

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Fontoura Costa.

1. Psicofísica. 2. Processamento de sinais biológicos. 3. Instrumentação e experimentos em visão de invertebrados. I.Autor. II.Título.

CDD-530.8

**IFSC****UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO****Instituto de Física de São Carlos**

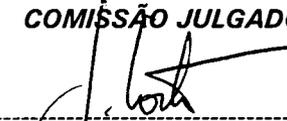
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
CEP 13560-250 - São Carlos - SP
Brasil

Fone (016) 273-9333

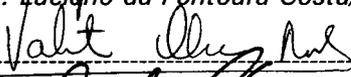
Fax (016) 272-2218

**MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
DANIELA MAYUMI USHIZIMA APRESENTADA AO INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO
CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 09 DE JUNHO DE 2000**

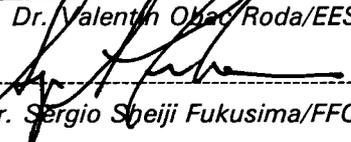
COMISSÃO JULGADORA:



Prof. Dr. Luciano da Fontoura Costa/IFSC-USP



Prof. Dr. Valentin Otao Roda/EESC-USP



Prof. Dr. Sergio Sheiji Fukusima/FFCLRP-USP

E mail: wladerez@if.sc.usp.br

Dedico este trabalho aos meus amáveis familiares e
aos meus prestativos amigos de trabalho.

Agradecimentos

Aos amigos e (ex) membros do Cybernetic Vision Research Group: Andrea, Alan, Carlos, Consul, Cristian, Edson, Fátima, Felipe, Jander, Júlia, Leandro, Luiz, Murillo, Odemir, Regina, Ricardo, Roberto e Sílvia pela simbiose e amizade como a de uma família e por terem me ensinado tantas coisas que jamais aprenderia sozinha. Especialmente ao orientador Luciano da Fontoura Costa pela paciência em compartilhar seus conhecimentos conosco e pela lição diária de dedicação ao trabalho, demonstrada em seu empenho.

Aos meus queridos familiares pelo amor em todos esses dias de minha vida e pelo amparo confortante e imprescindível nos dias de inófia.

Ao terno e companheiro namorado José Ricardo Sabino, inspirando-me como cientista, como professor e como ser humano.

Às secretárias Cláudia Tofanelli e Vladerez Caiado por serem tão prestativas em suas tarefas.

Aos técnicos Alexandre Silva, Ivanilda Stefani, Lirio de Almeida, Marcos Gonçalves pelos variados serviços prestados, de eletrônica a moscas!

Aos bibliotecários, faxineiras, funcionários da oficina mecânica, jardineiros, porteiros e a Rosana por facilitarem trabalho e serem grandes companheiros de jornada.

Às pessoas que me acompanham no dia a dia, fortalecendo-me como indivíduo e ser coletivo.

Ao Instituto de Física pela estrutura e boas instalações.

À FAPESP pelo apoio financeiro que permitiu o desenvolvimento de meu trabalho.

Índice

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO	3
1.3. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	4
1.4. UMA DAS ESPÉCIES DE SALTICIDAE IDENTIFICADA E ESTUDADA.....	5
2. REVISÃO: AS ARANHAS SALTADORAS	6
2.1. POR QUE A FAMÍLIA SALTICIDÆ?	6
2.2. CARACTERÍSTICAS ANÁTOMO-FISIOLÓGICAS	8
2.2.1. <i>Prossoma</i> (cefalotórax)	12
2.2.2. <i>Opistossoma</i> (abdômen)	26
2.3. ESTUDO COMPORTAMENTAL DAS ARANHAS SALTADORAS	29
2.3.1. <i>Etologia</i>	30
2.3.2. <i>Psicofísica</i>	32
2.4. VARIABILIDADE DA TAXA CARDÍACA (HRV).....	35
2.4.1. <i>Batimentos cardíacos em aranhas</i>	36
2.5. CONTROLE DAS PERNAS POR MEIO DE PRESSÃO DA HEMOLINFA: MÚSCULOS DO PROSSOMA OU CORÇÃO?	36
2.6. MECANISMOS DE APRENDIZAGEM	38
2.7. CONCLUSÕES	39
3. METODOLOGIA: MANUTENÇÃO DE COBAIAS E INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICO-COMPUTACIONAL	40
3.1. REQUISITOS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS	42
3.2. INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA	43
3.2.1. <i>Sensor de micromovimentos</i>	44
3.2.2. <i>Amplificador de instrumentação e filtro</i>	44
3.2.3. <i>Entrada de dados: interface com o computador</i>	45

3.2.4. Calibração da instrumentação eletrônica para detecção de micromovimentos	46
3.3. RESULTADOS PRELIMINARES.....	50
3.4. ESTÍMULOS VISUAIS APRESENTADOS EM MONITOR: SEGUNDA FASE DO TRABALHO	52
3.5. O SOFTWARE GERENCIADOR DOS EXPERIMENTOS	56
3.5.1. Principais características do software	56
3.5.2. Como o software funciona.....	59
4. RESULTADOS PRELIMINARES: MONITORAMENTO DAS RESPOSTAS DA ARANHA A ESTÍMULOS GERADOS POR COMPUTADOR.....	62
4.1. SINAIS BIOLÓGICOS: MACROMOVIMENTOS, MICROMOVIMENTOS E BATIMENTOS.....	63
5. ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE SINAIS BIOLÓGICOS	70
5.1. SINAIS E SISTEMAS.....	70
5.2. PRÉ-PROCESSAMENTO: FILTROS E SUAVIZAÇÕES	73
5.3. ANÁLISE DOS SINAIS:	77
5.3.1. Comparação dos resultados obtidos com a pesquisa de Forster	77
5.3.2. Histograma de períodos de batimento (interbeats)	80
5.3.3. Variação do pico de frequência fundamental de batimento	92
5.4. EXISTÊNCIA DE MECANISMO DE ADAPTAÇÃO.....	96
6. RESULTADOS DA PESQUISA.....	100
6.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	100
6.2. INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA E SOFTWARE DE AQUISIÇÃO	101
6.3. MÉTODOS DE ANÁLISE DOS SINAIS DE MICROMOVIMENTOS CAPTURADOS	102
7. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	106
8. BIBLIOGRAFIA.....	108
APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL	113
APÊNDICE B – BATIMENTOS NO DOMÍNIO TEMPORAL.....	117
APÊNDICE C- INTERBEATS NA ANÁLISE INTRA/INTER EXPERIMENTOS	122
PARTE I: CONSIDERANDO OS 30S DE GRAVAÇÃO DOS BATIMENTOS PARA CADA EXPERIMENTO	122
PARTE II: CONSIDERANDO INTERVALOS DE 5S DOS 30S DE GRAVAÇÃO	126
APÊNDICE D – VARIAÇÃO DO PICO DE FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL DE BATIMENTO.....	130

Lista de Figuras

Fig.1. 1. Desenhos do macho (esquerda) e fêmea (direita) de <i>Plexippus paykulli</i> :.....	5
Fig.1. 2. Foto do macho (esquerda) e da fêmea (direita) de <i>Plexippus paykulli</i> : dimorfismo sexual.	5
Fig.1. 3. Foto do macho (esquerda) e da fêmea (direita) de <i>Plexippus paykulli</i> de Barhein.	5
Fig.2. 1 Vista frontal do cefalotórax da <i>Saitis barbipes</i> (macho morto e seco).	6
Fig.2. 2 Vista superior do cefalotórax da <i>Phidippus audax</i>	6
Fig.2. 3 Aparência externa do corpo de uma aranha: (a) vista lateral; (b) vista ventral, E = epigynum (alterada de Foelix 1996).	8
Fig.2. 4 Segmentos dos membros: (a) perna; (b) pedipalpo (Foelix 1996).	9
Fig.2. 5 Quelíceras tipo labidognata (Foelix 1996).	9
Fig.2. 6 Pulmões foliáceos	10
Fig.2. 7 Sistema digestivo	10
Fig.2. 8 Sistema circulatório de uma araneomorfa (alterada de Foelix 1996).	11
Fig.2. 9 Apódema: invaginação do exoesqueleto, consistindo endoesqueleto (Barnes, Ruppert 1996).	11
Fig.2. 10 Prossoma de uma araneomorfa: P: faringe; SEG: gânglio supra-esofágico (protocérebro e tritocérebro); SUB: gânglio subesofágico; ESO: esôfago; S: estômago sugador; E: endosternite (alterada de Foelix 1996).	12
Fig.2. 11 Vista lateral de uma <i>Eurypelma marxi</i> mostrando: a (CNM) massa nervosa central, composta do gânglio supra-esofágico e gânglio subesofágico; (ANB) feixe de nervos abdominais; nervo VIIIB; (H) coração; (CG) gânglio cardíaco; (CRN) nervo cardioregulador; (PE) pedipalpo; (CH) quelicera; (A) aorta anterior; (L) lorus (Sherman 1985).	13
Fig.2. 12 Massa nervosa central de Ctenidae, família que apresenta olhos principais com capacidade de movimento retinal: (OPTN) nervo óptico; (BR) cérebro; (PDN) nervo pedipalpal; (AMN 1-4) primeiro ao quarto nervo das pernas; (OES) esôfago; (SOG) gânglio subesofágico; (ABDN) feixe de nervos abdominais (Babu 1985).	15
Fig.2. 13 Graus de liberdade das pernas da uma araneomorfa.	16
Fig.2. 14 Sistema nervoso periférico nas pernas: células sensoriais – interneurônio (neurônio gigante) – SNC (modificada de Seyfarth 1985).	17
Fig.2. 15 Esquema ocular da aranha saltadora	18
Fig.2. 16. Campo visual dos olhos AM, AL e PL da aranha saltadora, com flecha indicando o campo visual ampliado dos olhos AM, devido aos movimentos das retinas destes (alterada de Forster 1982).	19
Fig.2. 17 Retina estratificada dos olhos principais (Foelix 1996).	21
Fig.2. 18 Esquema de vista frontal de cada camada (Foelix 1996).	22
Fig.2. 19 Músculos dos olhos AM	23
Fig.2. 20 Movimentos das retinas nos olhos principais (AM).	24

Fig.2. 21 Olhos secundários: T=tapetum, TG=tipo grade (alterada de Foelix 1996).....	25
Fig.2. 22 Opistossoma ou abdômen de uma araneomorfa (alterada de Foelix 1996).	26
Fig.2. 23 Musculatura prosômica: (1) coração, (2) canal alimentar, (3) músculos dorso-ventrais, (4) bolso estercoral, (5) ânus, (F) fiandeiras (alterada de Foelix 1996).	27
Fig.2. 24 Posição do coração no opistossoma: (L ₁₋₆) ligamentos laterais, (Os) óstios (alterada de Foelix 1996).	28
Fig.2. 25 Salticida macho cortejando fêmea: importância das cores e posturas no acasalamento	31
Fig.2. 26 Experimento de Forster: desenhos em cartão movimentando-se	32
Fig.2. 27 Gravação sincronizada da pressão no prossoma e no 2º par de pernas de uma aranha caçadora: tarântula (alterada de Foelix 1996).....	38
Fig.3. 1. Hipótese de repercussão do impulso nervoso nos potenciais de ação do gânglio cardíaco e movimento de apêndices.	41
Fig.3. 2 Aparato experimental utilizado na primeira fase da pesquisa.....	43
Fig.3. 3 Amplificador de instrumentação e filtro.....	45
Fig.3. 4. Esquema da montagem experimental para calibração da instrumentação eletrônica.....	46
Fig.3. 5 Foto da montagem experimental para calibração da instrumentação eletrônica.....	47
Fig.3. 6. Aparato instrumental que mimetiza o batimento cardíaco e relação entre as variáveis dimensionais.....	48
Fig.3. 7. Deslocamento periódico do magneto para um giro completo da roda: a) deslocamento vertical em mm do magneto; b) deslocamento horizontal em mm do magneto.	48
Fig.3. 8. Gráfico de decaimento da amplitude (V) em relação à frequência (f).	49
Fig.3. 9 Estímulos visuais: linha em 0 indica lâmpada apagada; linha em 1 indica lâmpada acesa.....	50
Fig.3. 10. Interface do software inicial: janela superior = estímulo visual; janela inferior = gravação de micromovimentos, influenciada pela luz da lâmpada como estímulo visual.....	50
Fig.3. 11 Modelo da reação da aranha, como um sistema linear, ao estímulo visual.....	52
Fig.3. 12 Aparato experimental utilizado na segunda fase da pesquisa.	53
Fig.3. 13 Algumas figuras computadorizadas utilizadas como estímulos visuais.....	54
Fig.3. 14. Figuras adotadas como estímulos visuais, baseadas em Forster [Forster 1982, Forster 1985]: comparação com essa pesquisa (abaixo das figuras, nomes pelos quais se referenciá-las-á).....	55
Fig.3. 15. Principal interface gráfica para monitoramento e gravação dos experimentos (última versão do software gerenciador de experimento).....	56
Fig.3. 16. Movimento do estímulo durante os 30s de gravação de cada arquivo de micromovimentos.	57
Fig.3. 17 Janela de configuração de gravação (acima) e Janela de notas experimentais (abaixo): opção de repetição do estímulo e armazenamento de dados experimentais básicos.	58
Fig.3. 18 Esquema básico de funcionamento do programa gerenciador de experimentos.....	61
Fig.4. 1. Análise do campo de visão dos olhos principais para determinação da área de deslocamento	

do estímulo.	62
Fig.4. 2. Macromovimentos, que provocam saturação do amplificador em virtude de movimentos bruscos do corpo; micromovimentos são os sinais gerados por pequenos deslocamentos do ímã, incluindo os batimentos, além de pequenos movimentos corpóreos (como é salientado na marcação <i>micromotions</i>).	64
Fig.4. 3. Espectro do ruído de fundo inerente aos sinais captados pelo aparato	66
Fig.4. 4. Resposta típica do batimento e ruído do sinal (amplitude em dB calculada em termos da média do ruído)	66
Fig.4. 5. Imobilização para submissão a experimento, à esquerda: posicionamento do sensor a milímetros do magneto, colado na aranha e à direita: isolamento do abdômen para atenuar movimentos do cefalotórax e/ou apêndices	67
Fig.4. 6. Reação ao estímulo visual devido à diferenciação de forma.	68
Fig.5. 1. Exemplo de série temporal unidimensional: (a) 5s de batimento cardíaco capturado via “estetoscópio de invertebrado” com amostragem de 4000Hz; (b) transformada de Fourier do arquivo de 30s de micromovimento (note o pico de frequência fundamental de batimento), ao qual pertence o intervalo mostrado em (a)	70
Fig.5. 2 Filtros gaussianos: (a) passa-baixa (suavização do sinal no tempo); (b) passa-alta e (c) passa-faixa	73
Fig.5. 3 Filtro para atenuação de 60Hz através de função gaussiana.	74
Fig.5. 4 Função gaussiana utilizada como filtro: atenuação de frequências acima de 10 Hz.....	76
Fig.5. 5 Transformada de Fourier do sinal original de micromovimento (a) e da versão filtrada por passa-baixa (b).....	76
Fig.5. 6 Sinal original e sinal filtrado: suavização de altas frequências.	77
Fig.5. 7 Taxa de resposta verificada por Forster (10 experimentos) e pela pesquisa da dissertação corrente (6 experimentos).....	80
Fig.5. 8 Sinal original sem nível DC: alguns ciclos não são encontrados (marcas designadas por X) pelo algoritmo; marcas O indicam os ciclos detectados em bordas de subida.....	80
Fig.5. 9. Histograma de <i>interbeats</i> para 100 arquivos de micromovimentos.	82
Fig.5. 10. Histograma de <i>interbeats</i> para arquivos gravados nos primeiros minutos do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14.....	84
Fig.5. 11. Histograma de <i>interbeats</i> para arquivos gravados após 15 minutos do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14.....	85
Fig.5. 12. Histograma médio dos <i>interbeats</i> do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14	86
Fig.5. 13. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn1	88
Fig.5. 14. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn1	88

Fig.5. 15. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn2	89
Fig.5. 16. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn2	89
Fig.5. 17. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn3	90
Fig.5. 18. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn3	90
Fig.5. 19. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn4	91
Fig.5. 20. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn4	91
Fig.5. 21. FFT de intervalos de 5s para o qual o estímulo está parado: a) pico de frequência correspondente ao intervalo anterior ao movimento e b) pico de frequência correspondente ao intervalo posterior ao movimento.....	93
Fig.5. 22. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14	94
Fig.5. 23. Visão global do experimento com cada estímulo visual: sinais no tempo (s), previamente filtrados (seção 5.2), ordenados conforme foram gravados durante o experimento (exp).....	97
Fig.5. 24. Variação da amplitude ao longo do experimento 1.....	98
Fig.5. 25. Variação da amplitude ao longo do experimento 2.....	99
Fig.Ap_A. 1. Sinal de micromovimento da <i>Salticidae</i> capturada com o osciloscópio TDS460A, de 100MS/s	116
Fig.Ap_B. 1. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn1</i> entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2	118
Fig.Ap_B. 2. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn2</i> entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2	118
Fig.Ap_B. 3. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn3</i> entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2	119
Fig.Ap_B. 4. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn4</i> entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2	119
Fig.Ap_B. 5. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn1</i> entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6	120
Fig.Ap_B. 6. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn2</i> entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6	120
Fig.Ap_B. 7. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn3</i> entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6	121

Fig.Ap_B. 8. Reação da cobaia ao movimento do estímulo <i>lyn4</i> entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6	121
Fig.Ap_C. 1 Histograma de <i>interbeats</i> de 1 arquivo - experimento 2.....	122
Fig.Ap_C. 2. Histograma médio dos <i>interbeats</i> - experimento 2.....	123
Fig.Ap_C. 3 Histograma médio dos <i>interbeats</i> - experimento 3.....	123
Fig.Ap_C. 4 Histograma médio dos <i>interbeats</i> - experimento 4.....	124
Fig.Ap_C. 5 Histograma médio dos <i>interbeats</i> - experimento 5.....	124
Fig.Ap_C. 6. Histograma médio dos <i>interbeats</i> - experimento 6.....	125
Fig.Ap_C. 7. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo <i>lyn1</i>	126
Fig.Ap_C. 8. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo <i>lyn1</i>	126
Fig.Ap_C. 9. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo <i>lyn2</i>	127
Fig.Ap_C. 10. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo <i>lyn2</i>	127
Fig.Ap_C. 11. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo <i>lyn3</i>	128
Fig.Ap_C. 12. . Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo <i>lyn3</i>	128
Fig.Ap_C. 13. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo <i>lyn4</i>	129
Fig.Ap_C. 14. Sinal no tempo, <i>interbeats</i> e espectro de freqüência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo <i>lyn4</i>	129
Fig.Ap_D. 1.Diferença entre o pico de freqüência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 2, considerando os estímulos da Fig.3. 14	130
Fig.Ap_D. 2. Diferença entre o pico de freqüência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 3	131
Fig.Ap_D. 3. Diferença entre o pico de freqüência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 4.....	132
Fig.Ap_D. 4. Diferença entre o pico de freqüência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 5.....	133
Fig.Ap_D. 5. Diferença entre o pico de freqüência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 6.....	134

Lista de Tabelas

Tabela 2. 1 Resposta da aranha <i>Trite planiceps</i> quando apresentando formas em movimento às respectivas velocidades (Forster 1985).....	34
Tabela 4. 1 Reação ao estímulo: N_{arq} = número de arquivos observados, N_{exp} = número dos diferentes experimentos dos quais provém os arquivos, $\mu R\%$ = média das porcentagens de ocorrência de resposta e σR = desvio padrão.....	69
Tabela 5. 1. Número de arquivos de 30s processados para cada experimento	78
Tabela 5. 2. Porcentagem de resposta da aranha para cada experimento	78
Tabela 5. 3. Resposta das aranhas Salticidae quando apresentando formas em movimento à respectiva.	79
Tabela 5. 4. Porcentagem da ocorrência de aumento, diminuição ou estabilidade da frequência após estimulação visual	95

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

dB = decibéis;

exp = experimento;

ECG = eletrocardiograma

HRV = *heart rate variability* (variabilidade da taxa cardíaca);

lyn1, lyn2, lyn3 e lyn4 = nomenclatura adotada para os estímulos visuais utilizados por Lyn Forster, do mais atrativo para o menos atrativo, respectivamente;

Mb = megabytes;

nm = nanômetros = 10^{-9} m

SNC = sistema nervoso central

μ = média;

σ = desvio padrão;

Resumo

A pesquisa em sistemas de visão artificial pode abordar tanto modelos puramente matemáticos quanto buscar inspiração em sistemas biológicos. Como o ser vivo contém as “respostas” em suas estruturas neurais de como desempenhar o sentido da visão, é coerente a investigação deste para elaboração de projetos em visão cibernética. O invertebrado terrestre de melhor visão, a aranha saltadora (Salticidae), é capaz de perceber e diferenciar formas, tamanhos e cores dos estímulos visuais, bem como o movimento destes em termos de velocidade e orientação. Nessa dissertação busca-se caracterizar e quantificar essa percepção por meio de uma metodologia para aquisição e análise de sinais biológicos, considerando tanto uma instrumentação para fisiologia não-invasiva quanto respostas das aranhas a estímulos visuais. Trata-se de uma nova abordagem com características melhoradas no que se refere a consumo de tempo e objetividade na realização de experimentos psicofísicos, o que vem a complementar os estudos comportamentais por observação humana realizados por Forster [Forster, L.M., (1985), *Target discrimination in jumping spider (Araneae: Salticidae)*, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), 249-272, Springer-Verlag]. Projetou-se um programa em Delphi® para gerenciamento dos experimentos por computador, o qual controla as estimulações, apresentando imagens, enquanto medidas de micromovimentos do corpo e/ou apêndices são capturadas, através de um aparato que se assemelha a um “estetoscópio para invertebrados”, pois capta batimentos cardíacos (micromovimentos específicos). Essas medidas são gravadas para processamento por rotinas desenvolvidas em Matlab (filtragens, correlações entre estímulos e sinais captados, visualizações do sinal no domínio do tempo e frequência, histogramas de ciclos de batimento, etc.), procurando as relacionar à percepção de padrões da aranha. A abordagem psicofísica da corrente dissertação é original e representativa uma vez que o estudo do comportamento visual da Salticidae restringiu-se, principalmente, a métodos observacionais. Confirmou-se a sensibilidade da aranha saltadora aos movimentos de estímulos apresentados bem como o reconhecimento de padrões bidimensionais, verificando-se uma variação de frequência cardíaca não caracterizada meramente em termos de aumento e diminuição.

Abstract

The research on artificial vision can approach as much models purely mathematical as to be inspired on biological systems. Once the living being has the “answer” on how to perform the vision in their neural structures, it is consistent to investigate the anatomy, physiology and psychophysics in order to elaborate projects in cybernetic vision. The terrestrial invertebrate possessing the best vision, the jumping spider (Salticidae), is capable of perceiving and discriminating visual stimulus form, size, colors and even the movement in terms of speed and orientation. In this dissertation, our main objective is spider perception characterization and quantification through an acquisition and analysis methodology, considering both the non-invasive instrumentation for physiology and Salticidae response to visual stimuli. It represents a new approach with improved characteristics over otherwise time consuming and subjective psychophysical experiments, complementing the behavioral studies by human observation, particularly Forster’s research [*Forster, L.M., (1985), Target discrimination in jumping spider (Araneae: Salticidae), In: Neurobiology of Arachnids (ed. by F.G. Barth), 249-272, Springer-Verlag*]. The computer aided experiment management (Delphi® designed program) guarantees the presentation of computerized images to stimulation while capturing measures of corporal displacements, using an apparatus that resembles an “invertebrate stethoscope”, due detects heartbeats (specific micromovements). We process these recorded measures by Matlab designed routines (filtering, correlation between stimuli and captured signals, etc.), looking for relationship between these measures and the spider pattern recognition. The psychophysical core of the current dissertation is original and representative, mainly when the classical behavioral studies are well restricted to observational methods. We affirm the Salticidae sensitivity to the presented stimulus displacements as well as the two-dimensional pattern recognition, beyond to establish a heartbeat frequency variation not described merely in terms of increasing and decreasing.

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

O estudo dos invertebrados é essencial para completa compreensão da natureza uma vez que representam 99.5% de todas as espécies animais, ou seja, entre 10 a 30 milhões de seres incrivelmente adaptados que permitem nossa sobrevivência no planeta [Conniff 1996]. Estes têm se tornado recentemente de interesse particular em neurociência, pela vantagem de possuírem relativamente menos elementos neurais para serem identificados, assim possibilitando maior acesso técnico. Verifica-se que descrições fisiológicas para controle de comportamento são mais completas para modelos invertebrados que para vertebrados.

Assumindo-se a continuidade evolucionária dos animais invertebrados ao homem, segue que os estudos de identificação da influência de neurônios particulares nos invertebrados torna-se relevante para a situação humana [Lee et al. 1995]. Nesse contexto, buscamos um invertebrado que nos permitisse análise e processamento de seus sinais de resposta em função de estímulos visuais - escolhemos as aranhas da família Salticidæ ou aranhas papa-moscas: invertebrados terrestres de visão mais desenvolvida [Forster 1985], que identificam com precisão objetos e suas respectivas posições, privilegiando o reconhecimento de segmentos de reta na imagem [Costa 1999], com resolução que se aproxima à dos primatas [Land 1985] em espécies do gênero *Portia*.

As aranhas da família Salticidæ, com estruturas neurais mais simples em relação aos humanos, compartilha as mesmas soluções para alguns problemas de visão: essa família, particularmente, privilegia segmentos de reta no processamento visual, função desempenhada também pelo córtex humano. Ela é o invertebrado terrestre de melhor visão, munida de um campo visual de quase 360°, capaz de perceber e diferenciar formas, tamanhos e cores dos estímulos, bem como o movimento destes em termos de velocidade e orientação.

Sabendo das capacidades discriminatórias precisas desse invertebrado, busca-se caracterizar e quantificar essa percepção através de medidas de micromovimentos, contendo o batimento cardíaco. Investiga-se quais são as características processadas, em que nível isso se dá (retina, córtex, etc.) e como é seu

funcionamento.

Através de uma instrumentação eletrônico-computacional de custo razoavelmente acessível, registrou-se os batimentos de diferentes gêneros e espécies de *Salticidæ*. Pelo estudo de variações dos sinais provenientes da aranha devido aos estímulos visuais, pretende-se investigar como ocorre o processamento neural das informações, busca-se confirmar os aspectos mais relevantes da imagem para a aranha saltadora, através de uma nova abordagem experimental para aquisição de dados e utilização de técnicas de processamento de sinais para interpretar os dados obtidos.

Apesar do comportamento das aranhas saltadoras ser estudado a mais de um século, até então a única forma de se medir o comportamento era através da observação. Sugerimos a aplicação de um aparato para captura dos batimentos cardíacos e através desses, determinarmos parâmetros comportamentais de maneira menos subjetiva.

Um outro objetivo foi analisar a variabilidade do comportamento cardíaco, bem como verificar a possibilidade de elaboração de métodos matemáticos que possam detectar e modelar os padrões que emergem. Buscou-se aplicar técnicas estatísticas para extração de estruturas em séries temporais, ou seja, determinar a dinâmica implícita nos processos quando somente os dados medidos são fornecidos. O conhecimento do tipo da dinâmica que gera o dado possibilita responder questões como predictabilidade teórica e, portanto, viabilidade e confiabilidade de um modelo.

Resultados encorajadores foram obtidos, claramente indicando forte correlação entre a apresentação dos estímulos e micromovimentos associados. Os sinais obtidos têm sido caracterizados em termos de representações no domínio temporal, espectral e em histogramas de intervalos de batimentos.

A multidisciplinaridade foi a ferramenta principal para pesquisar a complexidade dos sinais biológicos, obrigando a uma busca bibliográfica multiplicada. Nesse trabalho, vasculhar bibliografias relativas ao estudo biológico, etológico, fisiológico e psicofísico de invertebrados foi dispendioso, sendo original a abordagem visual-cardiológica da aranha saltadora.

1.2. Descrição do Trabalho

Utilizando a *Salticidæ* como cobaia (“sistema”), experimentos são realizados para sua estimulação visual através de diferentes formas e movimentos de estímulos (“entradas”). As reações ou respostas fisiológicas são detectadas em função dos micromovimentos da aranha (“saídas”), obtidos com o auxílio do computador, os quais permitem conclusões mais objetivas, extrapolando o estudo exclusivamente observacional de análise comportamental da aranha saltadora.

Com o intuito de gravação da atividade cardíaca foi construído um aparato com função similar a um estetoscópio, capaz de detectar e registrar micromovimentos. Através deste, obtivemos diversos arquivos com informação cardíaca de aranhas, machos e fêmeas de diversas espécies; então se procurou caracterizar tais sinais, descobrir similaridades entre eles, buscar simulações computacionais para tais comportamentos e modelos que possam explicar as reações aos estímulos.

Muito do comportamento das saltadoras é manifestado por conjuntos de respostas altamente predizíveis, deduzidas pelos estímulos visuais [Forster 1982], graças ao seu aparato óptico e neural especializado. Sabendo que o nervo óptico é aferente ao sistema nervoso central e o sistema nervoso central é eferente ao coração, busca-se relacionar o processamento visual aos batimentos cardíacos.

Tratando-se de um ser vivo, houve grande necessidade de aprofundamento biológico para entender como este animal processa informação e o porquê da importância de determinados atributos da cena para desencadear reação ou não da aranha. Conhecimentos biológicos sobre aranhas serão descritos e comentados, particularmente, no Capítulo 2, para que seja possível entender a proposta de estudo dos batimentos cardíacos nos capítulos seguintes. No Capítulo 3, descreve-se a forma de aquisição dos arquivos de batimentos cardíacos, o armazenamento e recuperação em termos de programas desenvolvidos em Delphi[®], os estímulos visuais utilizados e problemas iniciais na exploração das informações obtidas com o aparato eletrônico. Passa-se, então, a se discriminar os sinais obtidos, preocupando-se com aspectos psicofísicos, ou seja, relacionando variações dos sinais gravados com os atributos variáveis nos estímulos visuais, o que é descrito no Capítulo 4. No Capítulo 5, mostra-se como processar estes arquivos para comprovar a existência de reação aos

estímulos visuais, propor processamentos e análise dos sinais, estabelecendo comparações com o trabalho realizado por Forster [Forster 1979, Forster 1982, Forster 1985]. Propõe-se a identificação de reações da aranha, ao movimento dos estímulos visuais, automaticamente, por meio de rotinas implementadas em MATLAB, a partir de sinais adquiridos pelo programa desenvolvido em Delphi®, durante a corrente pesquisa. Finalmente, no Capítulo 6, descrevem-se os resultados obtidos com a pesquisa.

1.3. Contribuições do trabalho

São muitas as contribuições que essa dissertação apresenta, tanto à etologia e fisiologia da aranha saltadora como a psicofísica desta em termos de reconhecimento de padrões da imagem. Não existem outros trabalhos em que se tenha feito o estudo de micromovimentos provenientes da aranha relacionados à sua visão com auxílio de computador. Também nada se encontra a respeito da análise de comportamento de aranhas saltadoras em termos de seus batimentos cardíacos. A utilização de imagens computadorizadas representa uma forma ecológica, uma vez que em muitas pesquisas utiliza-se os próprios indivíduos como estímulo visual. Além disso, estímulos computadorizados dão maior flexibilidade quanto às variações dos padrões.

Propomos a utilização de um aparato para aquisição de batimentos cardíacos para invertebrados e software para armazenamento e recuperação dos batimentos e gerenciamento de experimentos, buscando um caráter mais objetivo para análise e caracterização comportamental da aranha saltadora (Salticidæ).

Essa dissertação tem como foco principal de pesquisa os micromovimentos da aranha saltadora em termos de diversos estímulos visuais, entretanto outras abordagens surgem em relação à aplicabilidade da pesquisa:

- Robótica, no desenvolvimento de olhos biônicos;
- Neurofisiologia, com auxílio do computador, para entender melhor os sistemas de visão biológicos;
- Cibernética, que é a ciência que estuda as comunicações e o sistema de controle nos organismos vivos e nas máquinas, implica na filosofia de transporte dos

princípios de processamento de visão dos sistemas biológicos para sistemas de visão computacional, assim aprendendo com a Natureza ao invés de desenvolvermos métodos, geralmente menos eficientes, baseados puramente em dispositivos eletrônicos;

1.4. Uma das espécies de Salticidae identificada e estudada

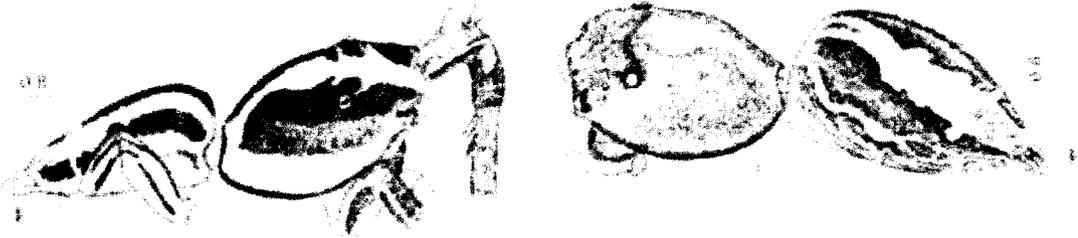


Fig.1. 1. Desenhos do macho (esquerda) e fêmea (direita) de *Plexippus paykulli*: aranha cosmopolita de regiões de clima quente.
<http://spiders.arizona.edu/salticid/Diagnost/PL.XIPPUS/PAYKULLI.htm>

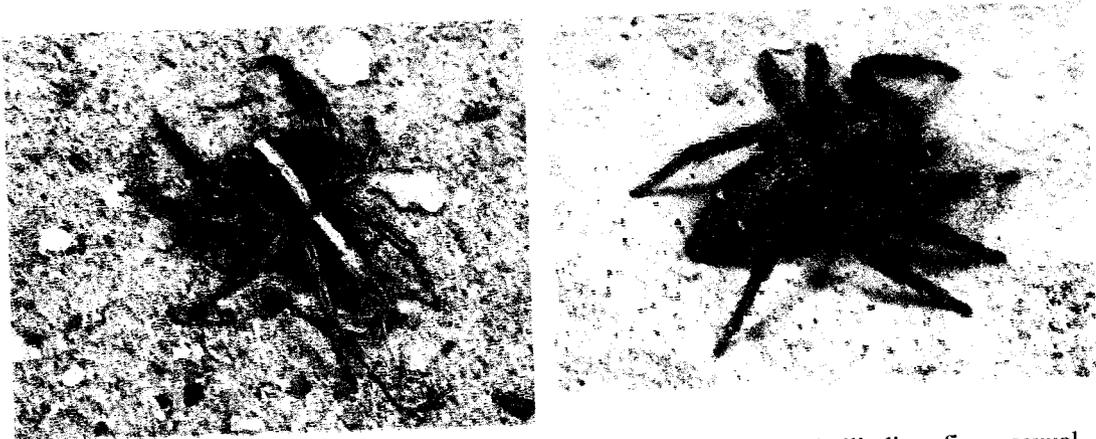


Fig.1. 2. Foto do macho (esquerda) e da fêmea (direita) de *Plexippus paykulli*: dimorfismo sexual.
<http://www.asahi-net.or.jp/~dp7a-tnkw/iriomotelist.html>



Fig.1. 3. Foto do macho (esquerda) e da fêmea (direita) de *Plexippus paykulli* de Barhein.

2. Revisão: As aranhas saltadoras

Os membros dessa família são facilmente reconhecidos graças ao arranjo característico dos olhos e ao tamanho relativo entre os diferentes pares. Eles ocupam o comprimento inteiro da parte correspondente à face no cefalotórax e limitam uma área quadrilateral (quadrângulo ocular) [Comstock 1940]. Os olhos anteriores medianos são os maiores e situam-se na face vertical (Fig.2. 1); os outros são menores e situam-se de maneira geral nas regiões laterais do cefalotórax, como na Fig.2. 2.

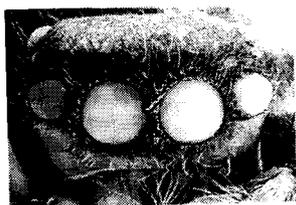


Fig.2. 1 Vista frontal do cefalotórax da *Saitis barbipes* (macho morto e seco).

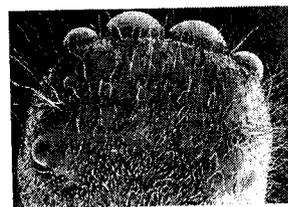


Fig.2. 2 Vista superior do cefalotórax da *Phidippus audax*.

2.1. Por que a família Salticidæ?

Além das qualidades do sistema visual, as Salticidæ são excelentes cobaias: são freqüentemente encontradas na Natureza em todas as épocas do ano e facilmente mantidas, em laboratório, necessitando de uma alimentação periódica (efetuada em períodos de 2 semanas) composta por insetos como abelhas, borboletas, grilos e moscas, sendo recomendável temperaturas acima de 30°C, para que haja um bom crescimento, metabolismo e reprodução das aranhas.

Dentro do filo Chelicerata, classe Aracnida, ordem Araneæ, subordem Opisthothelæ, infraordem Araneomorphæ, família Salticidæ, encontram-se as aranhas utilizadas neste trabalho. Típicas de regiões quentes e com muita luminosidade, diferenciam-se das demais aranhas pelo seu comportamento defensivo, predatório e sexual governado pela visão, com cortejamento visualmente complexo e captura de presas através de uma elaborada estratégia. Mais um indício da importância desse sentido para sua sobrevivência é permanecerem em seu ninho de teia em dias chuvosos ou nublados [Foelix 1996], não copulando na ausência de

luminosidade.

O comportamento visual das aranhas para comunicação é imprescindível para sua sobrevivência e perpetuação, pois altera a probabilidade de seus padrões de comportamento. Elas possuem cores, formas (inclusive dimorfismo sexual) e tamanhos variados, características importantes no inter-reconhecimento das espécies. A partir de 1879, Grenacher descreve originalmente os olhos das aranhas saltadoras e em 1889, inicia-se o estudo da elaborada côrte, a qual envolve posturas específicas, padrões de locomoção e tamanho relativo dos participantes. Nesse estudo, alega-se possuírem uma visão aguçada, permitindo às fêmeas julgar a atratividade relativa dos machos pretendentes à cópula e então selecionar o ideal para acasalamento. Outros trabalhos foram desencadeados desde então e estabeleceu-se a excepcionalidade da precisão da visão das Salticidæ com Peckham em 1894 [Foelix 1996].

De cada ninho, todos os ovos têm probabilidades iguais de sobrevivência, embora seja um acontecimento incomum. Em média, 3 ou 4 das aranhas de um ninho atingem a maturidade. O ciclo de vida dessas aranhas, da eclosão dos ovos até o estágio adulto, é de um a dois anos, sendo geralmente de um ciclo anual somente. Para os machos, esse período é mais curto que para as fêmeas, os quais morrem após o período de acasalamento, se é que viveram até então.

Algumas características evolutivas e ecológicas importantes:

- são bastante adaptadas à vida na Terra, pois datam do período Cambriano, há aproximadamente 540 a 510 milhões de anos (juntamente com a maioria dos outros representantes do subfilo *Chelicerata*), fato infelizmente não compartilhado com alguns artrópodes, como os do subfilo *Trilobita*, que extinguíram-se no Carbonífero [Storer et. al 1979];
- constituem a culminação do desenvolvimento evolutivo dos protostômios, tendo como ancestral os poliquetos [Barnes, Ruppert 1996];
- dentre as aproximadamente 35.000 espécies de aranhas taxonomicamente reconhecidas, 4.400 espécies são de aranhas saltadoras (maior número de espécies catalogadas), agrupadas em 490 gêneros que se distribuem de forma endêmica pelos mais variados lugares [Foelix 1996].

2.2. Características anátomo-fisiológicas

Existem características que determinam um aracnídeo como aranha. São eles:

- 2 regiões bem evidentes do corpo (Fig.2. 3): prossoma (cefalotórax) e opistosoma (abdômen), sendo estes segmentados em 17 porções ao todo; cada segmento com um par de apêndices, com exceção do segmento onde se encontra o pedicelo; 4 pares de pernas, particularmente curtas (ou prógradas) em Salticidæ, (Fig.2. 4a), com 7 segmentos cada uma: tarso, metatarso, patela, fêmur, tíbia, trocânter e coxa, sendo o primeira a extremidade livre e o último, acoplado ao cefatórax. As tíbias I da Salticidæ não possuem espinhos e os tarsos possuem 2 unhas (características importantes para reconhecimento de famílias numa chave de classificação);
- 2 pedipalpos (Fig.2. 4b), com 6 segmentos (tarso, patela, fêmur, tíbia, trocânter e coxa) cada; os tarsos são modificados nos machos adultos para transferência de esperma;
- 2 quelíceras próximas às peças bucais, em oposição (Labidognata), em cujas extremidades localizam-se os ferrões através dos quais inoculam veneno (Fig.2. 5.);

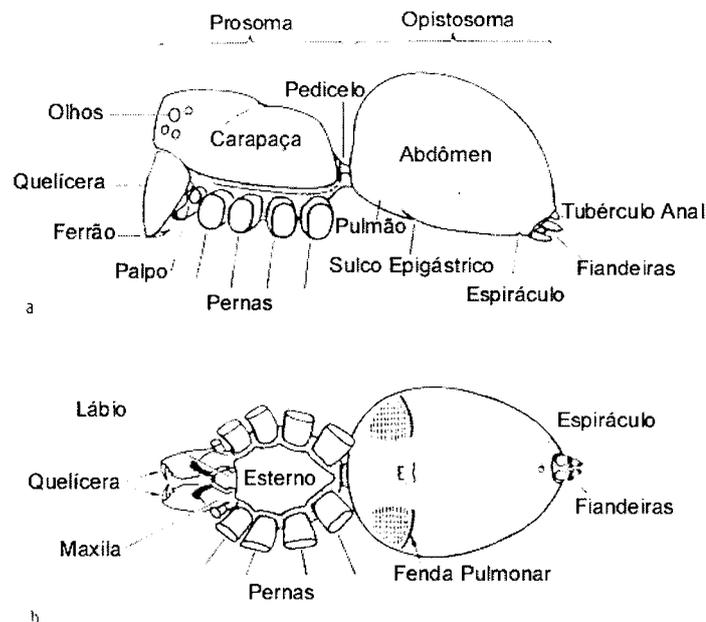


Fig.2. 3 Aparência externa do corpo de uma aranha: (a) vista lateral; (b) vista ventral, E = epigynum (alterada de Foelix 1996).

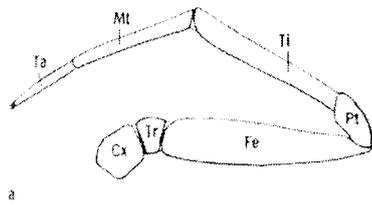


Fig.2. 4 Segmentos dos membros: (a) perna; (b) pedipalpo (Foelix 1996).



Fig.2. 5 Quelíceras tipo labidognata (Foelix 1996).

- pulmões foliáceos (Fig.2.6), onde o ar entra e sai, oxigenando a hemolinfa através de difusão, assim as aranhas não fazem movimentos de respiração pulsatório ao longo das paredes do corpo - os pulmões não tem capacidade de expansão e contração [Snodgrass 1952];
- traquéias são localizadas no terceiro segmento abdominal em aracnídeos, bem atrás dos pulmões foliáceos com captação do ar através da extremidade chamada espiráculo (Fig.2. 3); Nas Salticidæ, verifica-se um só espiráculo traqueal, próximo às fiandeiras. Os túbulos traqueais são bastante ramificados, permeando inclusive o prossoma e extremidades corpóreas, proporcionando uma forma mais eficiente de oxigenação do indivíduo; A maioria das aranhas recebem suprimento de oxigênio traqueal diretamente e portanto são menos dependentes do oxigênio carregado pela hemolinfa;
- fiandeiras, aparato de seda sempre presente na abertura da extremidade terminal do abdômen, abaixo do ânus. As Salticidæ possuem 6 fiandeiras, sendo que as médias inferiores são às vezes difíceis de serem visualizadas (Fig.2. 3);
- pêlos modificados (tricobótrias) para percepção tátil;
- digestão extra-corporal: regurgita enzimas, que inocula no corpo da vítima e então suga o alimento digerido, que percorre o caminho, preenchido de amarelo, que inicia na seta azul. O esôfago passa reto pelo cérebro e atinge o estômago sugador, representado por um pequeno círculo amarelo na Fig.2. 7. O estômago é circundado por músculos e preso a eles; um deles é o músculo em forma de leque representado em vermelho na figura, que possui conexões com a parte interior superior da carapaça. Acima do estômago sugador, o início do intestino é adjacente à cutícula (em verde), indicando que este faz parte do exoesqueleto. Assim, quando há muda,

além da carapaça, o esôfago e o estômago são descartados. Além do estômago sugador, o início do intestino, que não se encontra mais conectado à carapaça começa a se ramificar, interiormente às base das pernas; um ramo acima e a frente em direção a um grande divertículo, dispendo-se superiormente aos olhos e cérebro. Um outro ramo do intestino continua posteriormente a partir do estômago sugador até o abdômen (Fig.2. 7);

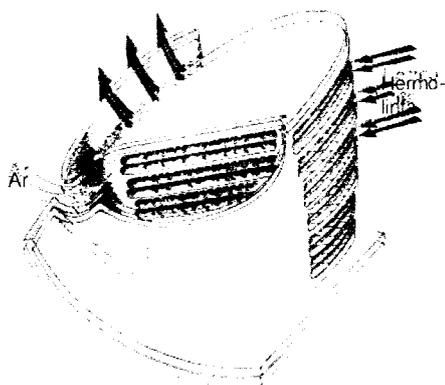


Fig.2. 6 Pulmões foliáceos (alterada de Foelix 1996).

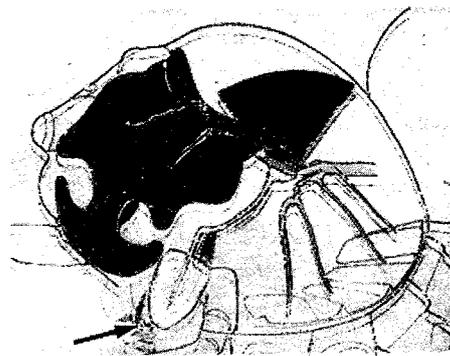


Fig.2. 7 Sistema digestivo

<http://spider.arizona.edu/Salticidae/++Salticidae/anatomy/anatomy.html>

- ovíparos de desenvolvimento direto, ou seja, não possuem estágio larval.
- o sistema circulatório (Fig.2. 8) é aberto, com sistema *arterial* fechado e sem capilares, partindo do coração e ramificando-se por todo o corpo, inclusive até os segmentos mais extremos das pernas (tarso), penetrando livremente, espaços entre os tecidos. Seguindo o menor gradiente de pressão, o sangue é coletado nas lacunas ventrais, depois passa pelos pseudopulmões e então vai para o coração. Artérias possuem paredes com miofilamentos, que possibilitam que mudem de diâmetro em resposta a certos íons (vasoconstrição/dilatação). O sistema *venoso* é aberto, pois a hemolinfa banha os tecidos diretamente para trocas gasosas e retorna ao coração seguindo um gradiente em direção à menor pressão, passando pelos pulmões foliáceos e, então atingindo o coração.

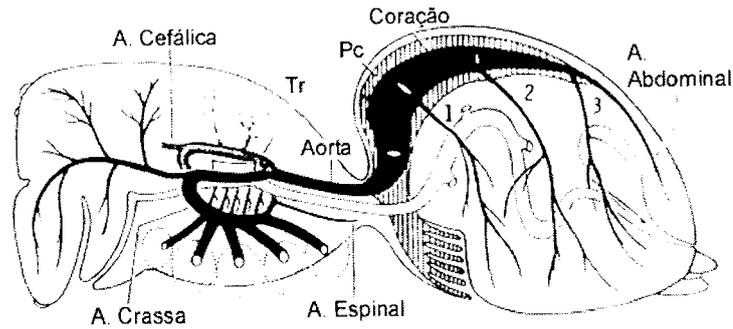


Fig.2. 8 Sistema circulatório de uma araneomorfa (alterada de Foelix 1996).

- exoesqueleto quitinoso ou cutícula constituindo a superfície de todo o corpo, membranas de juntas, tendões, apódemas, pêlos sensórios, além de túbulos respiratórios e órgãos reprodutivos. O esqueleto cuticular encontra-se dividido em segmentos unidos entre si por membranas articulares, assim, com uma articulação em cada ponto de união. As articulações permitem movimentos do corpo e apêndices (originando o nome do filo Arthropoda: pés articulados);
- as vantagens locomotoras e de suporte proporcionadas pelo exoesqueleto acarretam problemas ao animal em crescimento: a solução evolutiva foi o desprendimento periódico do esqueleto, processo chamado de muda ou ecdise;

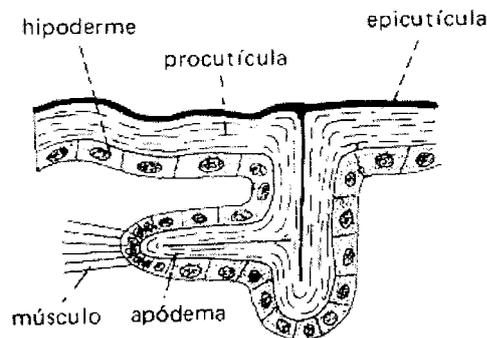


Fig.2. 9 Apódema: invaginação do exoesqueleto, consistindo endoesqueleto (Barnes, Ruppert 1996).

- endoesqueleto, podendo ser de origem ectodérmico ou mesodérmica, citados a seguir respectivamente:
- apódemas (Fig.2. 9): projeções internas de exoesqueleto, servindo como pontos de conexão para os músculos, como exemplo o apódema tergal que se projeta na cavidade torácica do prossoma e provê conexão aos músculos dorsais do

estômago sugador.

- entosterna: elementos esqueléticos que surgem na periferia dos apódemas, sem fibras de quitina, contudo, rico em fibras de colágeno. Lembram a cartilagem dos vertebrados, consistindo de uma matriz fibrosa secretada por células do tecido conjuntivo. O maior entosternum é a endosternite (Fig.2. 10) que jaz no meio do prossoma e cujas projeções servem para conexão de músculos estomacais laterais além de músculos dos membros [Barnes, Ruppert 1996, Foelix 1996];

2.2.1. Prossoma (cefalotórax)

É no prossoma que se encontram todos os apêndices da aranha, como quelíceras, palpos e pernas (um par por segmento cefalotorácico), além do sistema nervoso central (SNC), faringe, estômago sugador, parte do trato intestinal, glândulas de veneno (Fig.2. 10) e sistema visual. Uma peculiaridade das aranhas é a ramificação do canal alimentar: esses ramos (divertículos) estendem-se por todo o prossoma e podem até mesmo entrar na coxa das pernas. De acordo com o objetivo desse trabalho, será descrito, mais apuradamente, os 4 pares de olhos e o SNC.

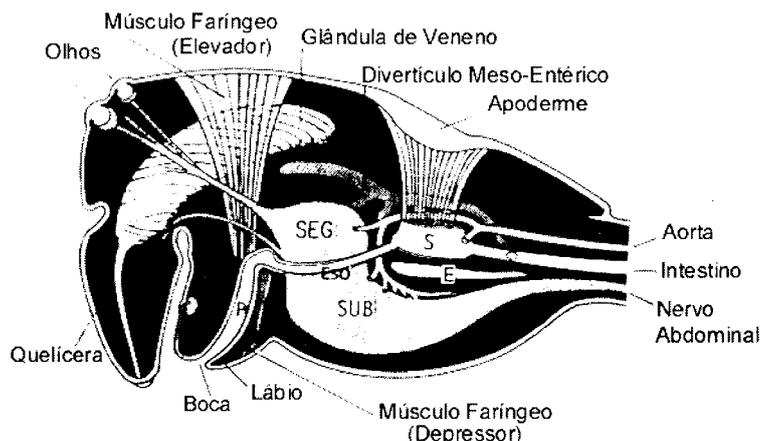


Fig.2. 10 Prossoma de uma araneomorfa: P: faringe; SEG: gânglio supra-esofágico (protocérebro e tritocérebro); SUB: gânglio subesofágico; ESO: esôfago; S: estômago sugador; E: endosternite (alterada de Foelix 1996).

2.2.1.1. Sistema nervoso

Pode-se dividir o sistema nervoso (Fig.2. 10) em sistema nervoso central (SNC) ou massa nervosa prossômica e sistema nervoso periférico (SNP).

O SNC é atravessado por um estreito esôfago que o divide horizontalmente em gânglios: supraesofágico e subesofágico, ao invés de uma cadeia de gânglios interconectados estendendo-se pelo corpo. Comparadas com outros artrópodes, as aranhas têm o SNC altamente condensado (encefalização). Vários nervos partem de cada gânglio e juntos formam o SNP.

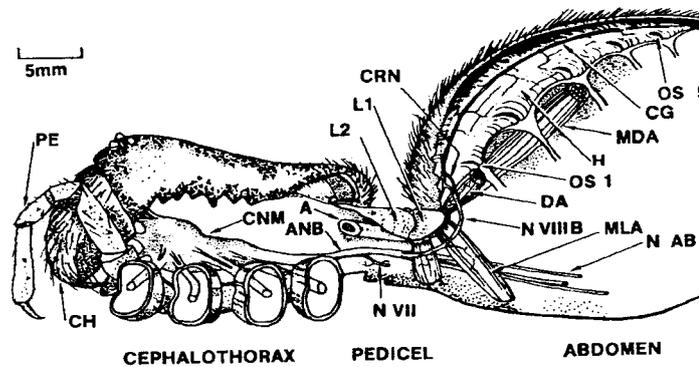


Fig.2. 11 Vista lateral de uma *Eurypelma marxi* mostrando: a (CNM) massa nervosa central, composta do gânglio supra-esofágico e gânglio subesofágico; (ANB) feixe de nervos abdominais; nervo VIII B; (H) coração; (CG) gânglio cardíaco; (CRN) nervo cardioregulador; (PE) pedipalpo; (CH) quelicera; (A) aorta anterior; (L) lorus (Sherman 1985).

Em termos celulares, o SNC contém geralmente de 30.000 a 100.000 células neurais, das quais um terço à metade pertencem ao gânglio supraesofágico e o resto ao subesofágico [Foelix 1996].

As células neuronais que compõem o *sistema nervoso central* (Fig.2. 11) são tipicamente monopolares (ou pseudo-unipolar), ou seja, da pericária ou soma parte apenas um neurite, que origina diversos dendritos curtos altamente ramificados e um único axônio. O SNC consiste de um:

- cérebro dorsal anterior (ou gânglio supraesofágico = protocérebro + tritocérebro) com conectividades circunmesofágicas, unindo-o à uma outra de suas partes: a massa subesofágica, que por sua vez se funde-se à corda nervosa ventral de gânglios segmentais, característica particular das aranhas. O SNC é formado por diferentes tipos de neurônios, como: neurônios motores (os maiores) e interneurônios, os quais conectam gânglios diferentes e alguns podem ser identificados como células secretoras.
- gânglio subesofágico, que consiste principalmente dos gânglios fundidos de 10 apêndices. Os diferentes gânglios são interconectados por diferentes interneurônios. A superfície dorsal inteira do cérebro, o gânglio subesofágico e o

tronco de nervos principal são atravessados por veias sanguíneas, e frequentemente por ramificações das traquéias [Babu 1985, Foelix 1996].

Os únicos nervos que saem do protocérebro (Fig.2. 12), parte mais importante do SNC nos aracnídeos, com muitas células neuro-secretoras, são os **nervos ópticos**. Dois nervos ópticos médios partem da região dorsal e extremo anterior do protocérebro. Ventralmente estão os outros três pares de nervos ópticos laterais. Informações que chegam aos neurônios ópticos são transmitidas à parte central do corpo e à *corpora pedunculata* (“corpos em cogumelo”), regiões formadas por neurônios. Excepcionalmente, em aranha caçadoras, como a família Salticidæ, encontramos olhos bastante desenvolvidos e com massa ganglionar de **25%** do volume cerebral total **dedicada à visão**, enquanto que em aranhas sedentárias é de 3 a 4%. Em termos de peso, o SNC das aranhas saltadoras chega a 5% do peso total do indivíduo contra 1% das tarântula e 2.5% das licosídeas; estas diferenças advêm dos centros ópticos mais pronunciados nas aranhas orientadas visualmente [Babu 1985].

Em Salticidæ e Lycosidae, o grau de desenvolvimento dos agrupamentos de neurônios associados com os olhos laterais é o maior dentre os aracnídeos. Os olhos anteriores medianos tem 2 massas de neurônios ópticos empilhados, em cada lado do cérebro e são posteriormente interconectados com o corpo central. As duas massas ópticas são unidas através de um quiasma bem formado. Também bem desenvolvidas nos pares de olhos laterais, as massas ganglionares tem seus axônios aferentes à primeira pilha de neurônios, e também estão conectadas com o corpo central através de um grande tracto óptico.

Em estudos morfológicos [Land 1969a], verificou-se que cada um dos seis músculos que movem o olho principal (AM) nas Salticidæ é inervado por um único axônio motor, o que sugere que cada músculo represente uma unidade motora única.

Embora exista muita informação sobre o estudo do comportamento na aranha saltadora, pouco é conhecido sobre o processamento da informação visual pelo sistema nervoso [Land 1985].

Os neurotransmissores presentes no SNC são acetilcolina, aproximadamente 10 aminoácidos diferentes (glutamina, glicina, GABA – ácido aminobutírico gama, serina, taurina, etc.) e diversas aminas biogênicas. A massa nervosa é rica em acetilcolinesterase e em menor quantidade no gânglio óptico e corpo. Presença também de aminas ativas no neurohumor. A modulação da atividade elétrica no SNC

é feita por neuro-hormônios que regulam os ritmos circadianos [Babu 1985].

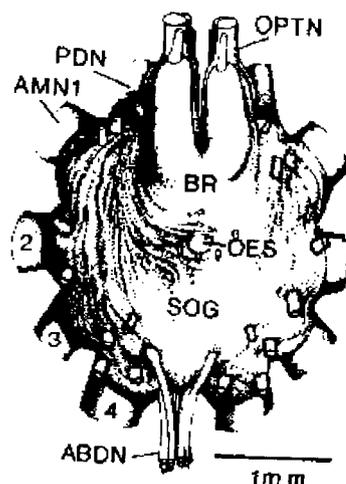


Fig.2. 12 Massa nervosa central de Ctenidae, família que apresenta olhos principais com capacidade de movimento retinal: (OPTN) nervo óptico; (BR) cérebro; (PDN) nervo pedipalpal; (AMN 1-4) primeiro ao quarto nervo das pernas; (OES) esôfago; (SOG) gânglio subesofágico; (ABDN) feixe de nervos abdominais (Babu 1985).

Seções histológicas do SNC mostram uma divisão distinta em: uma camada marginal de neurônios (o córtex), uma massa central de fibras nervosas (neurópilos) e uma superfície de cobertura que consiste em uma camada de tecido conjuntivo. A neurópilo é uma rede de trabalho densa de fibras nervosas e é aí que ocorrem a maioria das conexões sinápticas. Durante o desenvolvimento pós-embriônico, o número de fibras nervosas que forma a neurópilo aumenta notavelmente devido à ramificação repetida dos processos dendríticos – entretanto o número de neurônios dentro do córtex permanece constante. Note que o crescimento aparente do SNC é causado principalmente pelo aumento do neurópilo: aranhas jovens têm SNC compondo 50% do prossoma e adultas, 10% do prossoma, embora 10 a 20 vezes maior que nos estágios de ninfa [Foelix 1996]. Os neurópilos ópticos auxiliam na integração do movimento e fotorrecepção, constituindo provavelmente, os centros para iniciação do complexo comportamento [Barnes, Ruppert 1996].

A organização geral de *nervos sensitivos* dos aracnídeos é bastante similar aos dos insetos, porém a ocorrência de sinapses entre os nervos sensoriais (Fig.2. 14) e um *sistema nervoso periférico* os põe à parte dos outros artrópodes. Sinapses com

o sistema nervoso periférico são comuns entre os aracnídeos, mas raramente ocorrem nos nervos sensoriais principais, onde se verifica contatos axo-axonais diversas vezes. Embora o significado da maioria destas sinapses não possa ser explicada satisfatoriamente, sua presença indica que uma grande quantidade da integração nervosa deve ocorrer já na periferia [Foelix 1985, Seyfarth 1985].

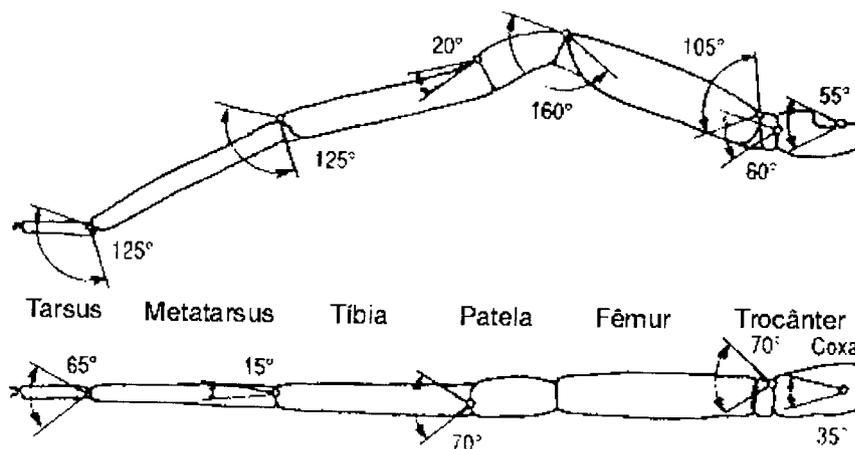


Fig.2. 13 Graus de liberdade das pernas da uma araneomorfa.

As pernas das aranhas (Fig.2. 13) possuem vários tipos de receptores largamente distribuídos, com fibras aferentes a órgãos sensitivos particulares que se projetam ao sistema nervoso central, algo ainda sob especulação. A inervação dos músculos das pernas é polineural, ou seja, cada célula muscular recebe diversas (normalmente três) fibras de neurônios motores.

Uma indagação freqüente sobre o processamento nervoso: qual a probabilidade do processamento da informação aferente ser multissegmental e, tais projeções, são confinadas a um lado ou a um segmento? Outra questão ainda em aberto nas discussões sobre aranhas é como a contração e extensão hidráulica são coordenadas para produzir movimentos de cada segmento individual? Apesar de se ter verificado a pressão da hemolinfa relacionada à atividade no prossoma, ainda não foram descritas como são produzidas as contrações e extensões hidráulicas. Sabe-se porém que, para se chegar a essa resposta, estudos de interneurônios, neurônios motores e do complexo subesofágico são necessários [Seyfarth 1985].

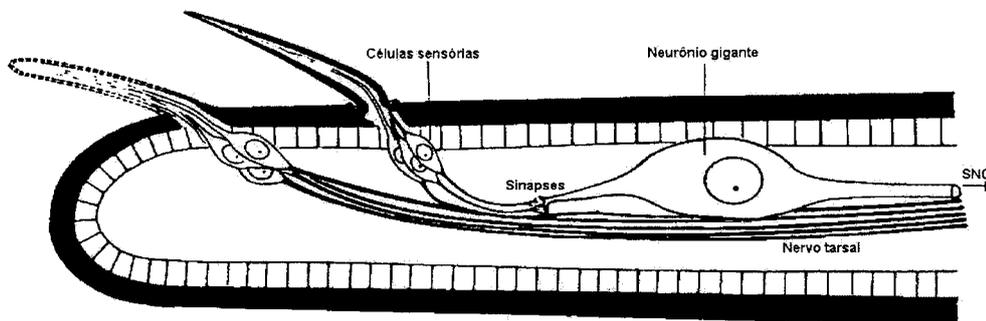


Fig.2. 14 Sistema nervoso periférico nas pernas: células sensoriais – interneurônio (neurônio gigante) – SNC (modificada de Seyfarth 1985).

2.2.1.2. O sistema visual

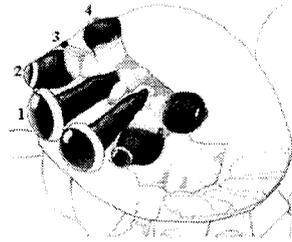
Em quase todos os artrópodes, o esqueleto compõe o olho, a córnea e o cristalino, todos transparentes, sendo o foco sempre fixo devido ao cristalino imóvel ser contínuo ao exoesqueleto circundante.

Os aracnídeos representam o único grupo dos artrópodes no qual o principal órgão de visão é do tipo câmara (como os nossos): um aparato dióptrico¹ (refrata a luz, propiciando focalização de imagens) com uma córnea contínua à cutícula da carapaça (exoesqueleto), uma lente, um compartimento anterior vítreo composto de células que compõe a lente e uma retina que consiste de um mosaico composto por mil a 10 mil receptores [Forster 1982, Land 1985].

Possuem 4 pares de olhos (Fig.2. 15) apostos, dispostos em 3 fileiras, ou seja, cada olho dá uma imagem separadamente. Os olhos são ocelos (ou olhos simples), compostos por uma única lente cuticular, posterior a esta, jaz o corpo vítreo celular, que junto com as células pigmentares formam a retina. Homann (1928) enfatiza que a acuidade visual dos olhos das aranhas saltadoras podem facilmente competir com a dos olhos compostos dos insetos. Os olhos principais podem mesmo ser superiores aos olhos dos insetos em resolução óptica. O termo usado comumente, ocelos simples, não se aplica bem nesse caso; ao contrário, o desenvolvimento dos ocelos demonstra só quão sofisticados podem ser [Foelix 1996].

Os fotoreceptores das aranhas, os rãdomas, podem apontar em direção à luz (olho direto) ou em direção à membrana pós retiniana (olho indireto);

¹ Dióptrico: que efetua refração da luz, focalizando-a; que assiste a visão.



1. Olhos medianos anteriores (AM)
2. Olhos laterais anteriores (AL)
3. Olhos medianos posteriores (PM)
4. Olhos laterais posteriores (PL)

Fig.2. 15 Esquema ocular da aranha saltadora

<http://spiders.arizona.edu/Salticidæ/++Salticidæ/anatomy/anatomy.html>

Cada olho PL abrange um campo de 120°, cada olho AL cobre um campo de 55° com uma sobreposição frontal de 25° (binocularidade). Os olhos AM têm menor campo visual, estendendo-se a 35° em ambos os lados da linha mediana (demarcação com flecha em Fig.2. 16) como um resultado do movimento da retina [Forster 1982].

A distância máxima segundo a qual a aranha ainda pode ver alguma coisa é de 30 cm, aproximadamente, a qual varia em função da maturidade e tamanho do indivíduo, embora aranhas de diferentes espécies com grandes diferenças no tamanho não impliquem que a maior delas terá melhor resolução nem que exista uma relação linear entre o tamanho e as distâncias relativas a aranhas de cada idade.

Se o objeto se move mais próximo, ela vira sua face em direção a ele; assim o objeto se torna fixo no campo visual através das retinas móveis dos olhos principais. Muitos experimentos elegantes realizados por Crane (1949) [Forster 1985] demonstraram que os olhos secundários (com lentes de amplo campo de visão) são primariamente detectores de movimento enquanto os olhos principais percebem imagens detalhadas.

Respostas à orientação dependem mais da distância entre receptores adjacentes e do movimento do estímulo que da distância ao alvo. A presença de pernas dispostas apropriadamente ou contornos em forma de perna é uma característica importante usada pela aranha para distinguir a presa de um parceiro ou de um predador [Forster 1985]. Outras características importantes na análise do alvo são:

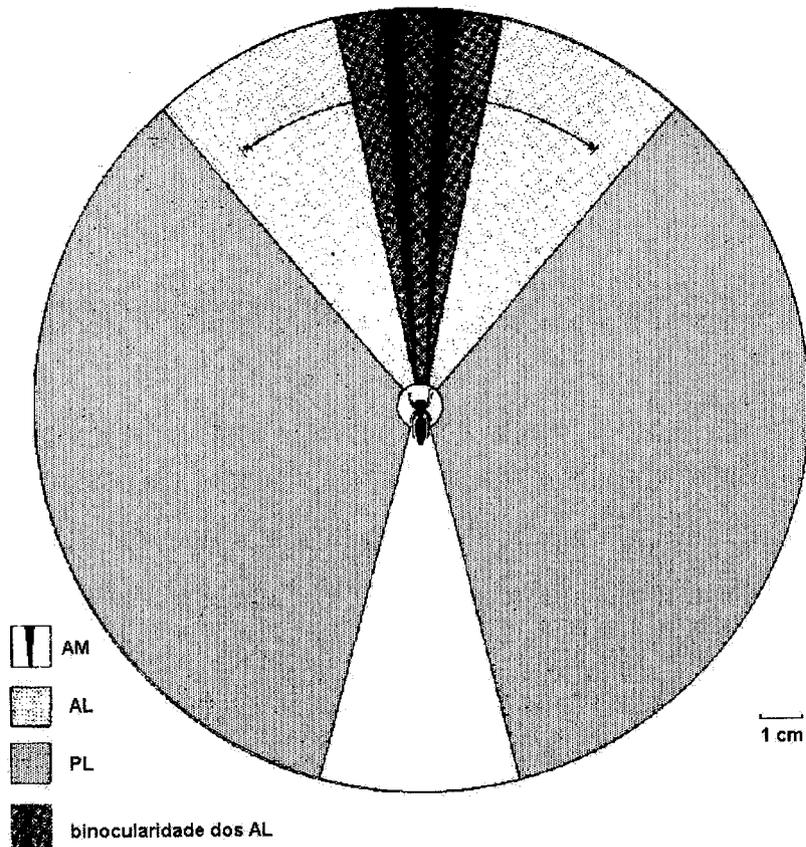


Fig.2. 16. Campo visual dos olhos AM, AL e PL da aranha saltadora, com flecha indicando o campo visual ampliado dos olhos AM, devido aos movimentos das retinas destes (alterada de Forster 1982).

- tamanho: se o alvo for duas vezes maior que a aranha, esta interpreta-o como predador e evita-o; se esse se mexe, ela fugirá;
- distância: variável de espécie para espécie, podendo ser no máximo 30 cm em média;
- velocidade: se superior a 4° , então é uma presa e deve-se perseguir, para isso utilizando os olhos AL; se inferior a 4° ou parado, então faz-se necessária uma análise do alvo com os olhos AM: se for reconhecido como presa, ataca-se; se for um parceiro pode haver acasalamento ou fuga, dependendo da maturidade, considerando se é época de acasalar e se é da mesma espécie [Foelix 1996].

Uma característica interessante da visão dessas aranhas é a capacidade de privilegiar retas [Land 1994, Costa 1999] graças ao formato de sua retina (olhos AM). Possui também capacidade de ver luz polarizada² [Foelix 1996], o que

² Luz polarizada: a luz do sol torna-se polarizada quando ondas de luz se dispersam devido às moléculas ou outras pequenas partículas da atmosfera terrestre. As ondas de luz então vibram numa

compartilha com os outros artrópodes; os vertebrados não possuem essa capacidade, ou seja, não tem capacidade de perceber padrões de polarização do céu. Segundo Tiedemann [Tiedemann 1993], através de estudos comportamentais verifica-se que a aranha não responde apenas ao contraste entre estímulo e fundo, mas responde em parte à aparência do estímulo, ignorando o fundo. Atualmente, sabe-se que não somente presas móveis são atacadas, mas também estáticas, por espécies de *Portia* [Jackson, Tarsitano 1993, Jackson, Wilcox 1993], o que mais uma vez justifica a percepção com precisão.

Abaixo, explica-se detalhadamente o funcionamento dos olhos, subdivididos estruturalmente como principais (a) e secundários (b).

a. Os olhos principais: discriminação dos objetos

Um par de olhos, sempre os medianos anteriores, é diferente dos outros pares, tanto estruturalmente, pois são maiores que os outros pares de olhos, quanto funcionalmente, onde somente um pequena área da imagem pode ser vista, embora sob alta resolução. São comumente chamados de olhos principais: são maiores, com um campo visual reduzido de 5° de largura por 20° de altura, segundo Land 1990 e 2° por 21°, segundo Forster 82, o que é melhorado graças à capacidade de movimentação da retina, permitindo então 70° [Forster 1982]. Medem e controlam seu comportamento caçador, sendo usado em táticas de aproximação, discriminação de objetos próximos e visão de cores. O ritual de comunicação visual entre as saltadoras exemplifica essa capacidade de visão colorida, uma vez que nas diversas posturas de cômte ou de dominação de território, os machos mostram as pernas e abdômen contendo sinais coloridos.

Com comportamento essencialmente diurno, os olhos possuem baixa sensibilidade à luz: para os AM em gêneros como *Portia* e *Phidippus*, a sensibilidade é de 0.09 μm^2 (calculada segundo a equação a seguir [Land 1985]) em detrimento da alta resolução dada em ângulo inter-receptor³ de 2.4' para *Portia* e 11-39' para *Metaphidippus*. É válido inferir que o ângulo inter-receptor da aranha é

direção específica em cada ponto do céu. Isto acarreta num padrão específico de polarização que muda com a posição do sol.

³ *Ângulo inter-receptor*: distância entre o centro dos receptores: quanto maior a distância, menor a resolução.

somente 6 vezes maior que o do homem (espaçamento entre os cones é de 0,42') [Land 1985].

$$S = \frac{F_{p(abs)}}{L} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{f}\right)^2 \cdot d_r^2 \cdot (1 - e^{-kl})$$

$F_{p(abs)}$ = fluxo absorvido pelo receptor
 L = luminância da fonte
 D = diâmetro da lente
 F = a distância focal correspondente
 d_r = diâmetro do receptor
 k = coeficiente de extinção do fopigmento nos fotoreceptores
 l = comprimento do receptor

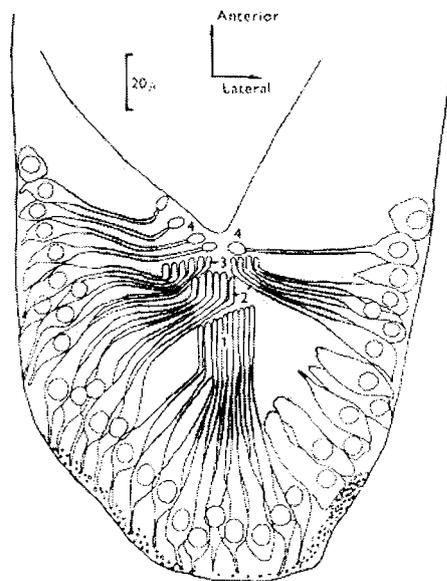


Fig.2. 17 Retina estratificada dos olhos principais (Foelix 1996).

As lentes desse par de olhos possuem grande distância focal, a retina é alongada e estreita, possui 4 camadas (Fig.2. 17 e Fig.2. 18), uma após a outra no caminho da luz. As camadas 1 e 2 são as mais profundas e ocupam a área com forma de bumerangue inteira, enquanto as camadas 3 e 4 são mais superficiais e encontram-se na região central da retina somente. A camada 1 é a mais densa portanto a mais precisa, acuidade que diminui progressivamente da camada 2 para 4. O motivo dessa organização estratificada ainda é controvertido; as hipóteses delineadas atualmente

são:

- a estratificação aumenta a profundidade de foco do olho, com objetos próximos focalizados no fundo na retina e objetos distantes nas camadas mais superficiais. Entretanto, as Salticidæ precisam de uma melhor resolução (camada 1) para longas distâncias [Land 1994];
- as diferentes camadas estão situadas nos melhores planos para os diferentes comprimentos de onda luminosa, permitindo um ganho na imagem com diferentes fotopigmentos em diferentes camadas: comprimentos de onda maiores seriam focados na camada 1 e menores na camada 4 [Land 85].
- Modelos propostos para a forma alongada da retina [Costa 1999]:
- modelagem como uma região fotodectora alongada que retorna como sinal a intensidade total do estímulo ao longo de sua extensão; através desse modelo há varredura da imagem e sua reconstituição, porém perda da posição do estímulo ao longo da região fotodetectora;
- modelagem como um arranjo linear de fotodetectores; além de apresentar maior analogia biológica, afinal a retina é formada por uma arranjo de células fotoreceptoras, permite também a codificação da posição do estímulo ao longo da retina.

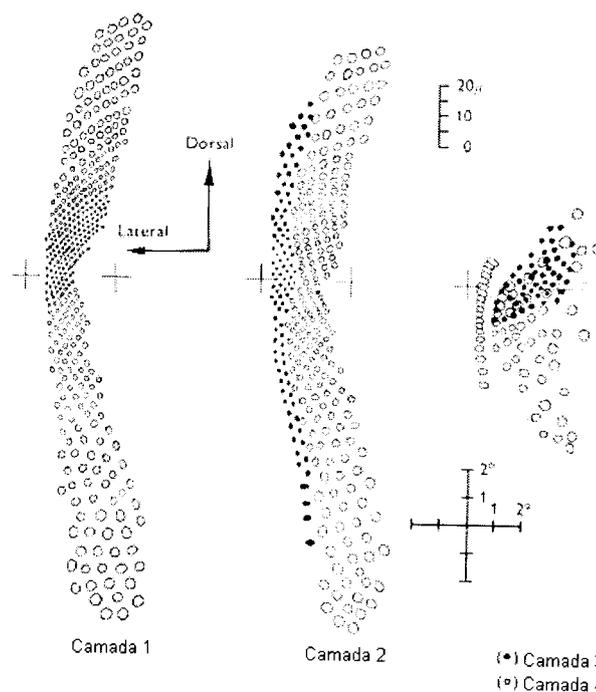


Fig.2. 18 Esquema de vista frontal de cada camada (Foelix 1996).

A distribuição de fotoreceptores na retina dos AM é diferenciada, sendo dez vezes mais densa na região central (fóvea) do que na região periférica, além do ângulo de divergência entre os receptores vizinhos, que é menor na fóvea (12') comparado com a periferia (40').

O formato tubular dos AM ajuda na resolução, mas implica num estreito campo visual. Carecem de uma íris móvel, um mecanismo de focalização e pálpebras. Com um cristalino contínuo à carapaça, a forma evolutiva alcançada para possibilitar ver objetos a diferentes distâncias com precisão é a capacidade de mobilidade das cápsulas dos olhos, movendo-se a retina. Assim a aranha precisa apontá-lo em diferentes direções para ver. Algumas vezes isso é feito através de movimentação de todo o cefalotórax, algumas vezes é feito pela própria retina: a aranha não tem como mexer o “globo ocular” e supre a carência de contração e dilatação do cristalino através de movimentos de rotação e translação da retina. Essas características na obtenção de imagens facilitam a detecção de retas, uma vez que o alinhamento da retina com uma reta provoca uma resposta mais acentuada dos fotoreceptores, que se dispõem também de maneira linear [Land 1990, Costa 1999].

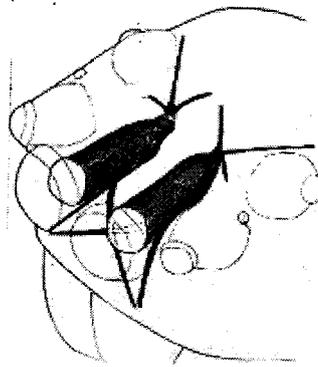


Fig.2. 19 Músculos dos olhos AM
<http://spiders.arizona.edu/Salticidæ/++Salticidæ/anatomy/muscles.html>.

Os olhos têm uma enorme sensibilidade e detectam cores, com sensibilidade a comprimentos de onda na faixa do violeta ($\lambda_{\text{max}}= 360$ nm), do azul ($\lambda_{\text{max}}=480-500$ nm), do verde ($\lambda_{\text{max}}=520$ nm) e do amarelo ($\lambda_{\text{max}}= 580\text{nm}$)[Land 1985, Yamashita 1985]. Possuindo quatro tipos de fotoreceptores, sugere-se que os olhos anteriores medianos sejam sensíveis a cor, ou seja, que fotopigmentos diferentes estejam ligados a diferentes fotoreceptores. Quanto às imagens das duas retinas, são separadas, invertidas e reversas. Em alvos estacionários, a identificação é ativada

pelos olhos principais, com auxílio dos movimentos da retina [Forster 1982]. Os seis músculos de cada olho (Fig.2. 19) acionam os movimentos das retinas, cujo movimento ocorre simultaneamente (podem se mover independentemente também), assim obtendo uma área em formato de “X” devido à forma de bumerangue de cada retina. Segundo Land [Land 1985], os movimentos podem ser de quatro tipos:

1. **atividade espontânea:** movimentos de varredura espontâneos pela grande angular, onde o centro das retinas dos olhos AL vagueiam numa velocidade variável sobre um amplo campo vertical e horizontal. Devem servir pra localizar objetos de interesse que não se movem (Fig.2. 20).
2. **sacada:** movimentos rápidos que centram o objeto na área de formato “X” das 2 retinas (Fig.2. 20);
3. **rastreamento:** se o objeto detectado por uma sacada se mover, esses movimentos mantêm-no no centro do campo visual (Fig.2. 20).
4. **varredura:** tipo mais complexo de movimento, pois efetua rotações e translações da retina para observação de objetos perto do alvo com objetivo de reconhecimento de padrões (Fig.2. 20). A frequência de oscilação (translação) das retinas é de 0.5 a 1 Hz, sendo que ao mesmo tempo rotacionam os eixos dos olhos de 50° a uma taxa um pouco menor: 0.1Hz [Land 1994, Costa 1999].

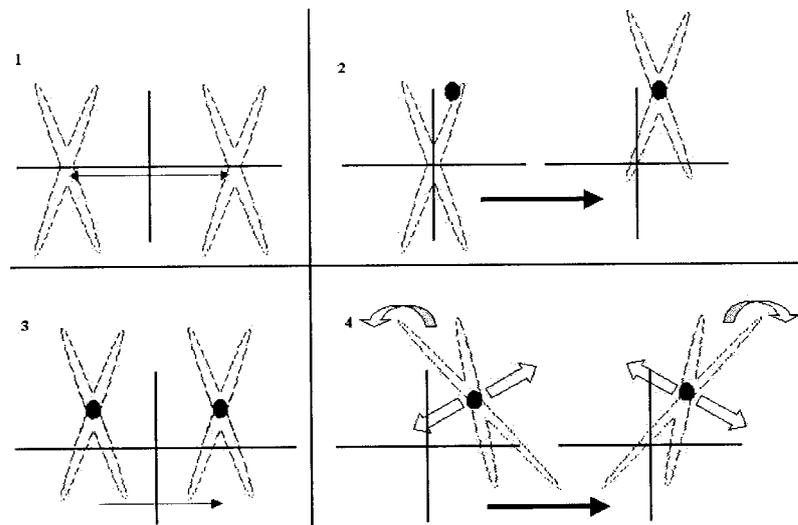


Fig.2. 20 Movimentos das retinas nos olhos principais (AM).

b. Olhos secundários: detecção de objetos

Outros 3 pares de olhos ou olhos secundários (Fig.2. 21), anteriores e posteriores laterais agem como nossa visão periférica, são cegos pra cores (um tipo de

fotoreceptor), com baixa resolução, mas com amplo campo de visão. Um par, o PM, é pouco desenvolvido e rudimentar (medianos posteriores) e com um campo de visão que não pode ser mapeado. Os outros pares de olhos laterais detectam movimentos a longo alcance, com uma região de binocularidade existente entre os olhos AL, que sugere que uma de suas funções seja o julgamento de distância.

Esses pares de olhos são utilizados primariamente para detecção de movimento: na *Metaphidippus aeneolus*, o espaçamento entre os fotoreceptores dos olhos PL é de 1° , dessa forma o objeto deverá efetuar movimentos de 1° a 100° s^{-1} dentro de uma distância mínima de 1° para que seja detectado. Quanto à percepção de profundidade, parece que corresponde à projeção de uma imagem apropriada sobre os receptores pré-programados em cada olho anterior-lateral dentro de suas regiões de sobreposição binocular [Forster 1985].

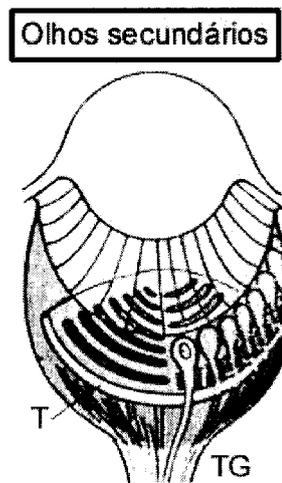


Fig.2. 21 Olhos secundários: T=tapetum, TG=tipo grade (alterada de Foelix 1996).

Possuem estrutura ocular do tipo grade, a qual é encontrada na maioria das aranhas caçadoras. Esses olhos são responsáveis por responder a pequenos movimentos de um objeto no campo de visão, análogo à nossa visão periférica. As lentes esféricas garantem uma imagem de alta qualidade e o corpo vítreo alongado provê a distância necessária para um bom foco. A resolução depende da densidade dos rbdomas⁴ na retina. Particularmente nas salticidas, os olhos secundários não

⁴ Rbdoma (*de rhabdom* = formato de bastão): célula retinular dos ocelos cilíndrica e transparente, pela qual trafega informação visual em artrópodes.

exibem tapetum (cobertura refletora, abaixo dos fotoreceptores, que permite ao fóton uma segunda chance de ser absorvido por um fotoreceptor).

Os fotoreceptores se organizam em um única camada. Os olhos laterais são considerados quase cegos para cor quando comparados com os olhos principais. O olhos posteriores laterais exibem picos de sensibilidade entre 480 a 500 nm e a 540 nm [Yamashita 1985].

2.2.2. Opistossoma (abdômen)

Leve e expansível, o opistossoma engloba o aparato respiratório, reprodutor e cardíaco (Fig.2. 22). Através do pedicelo temos a conexão prossoma e opistossoma, passando por ele a aorta anterior, o canal alimentar e um feixe de nervos. Apresenta-se subdividido em 10 segmentos, o que pode ser melhor comprovado analisando-se a organização interna dos músculos do opistossoma (Fig.2. 23):

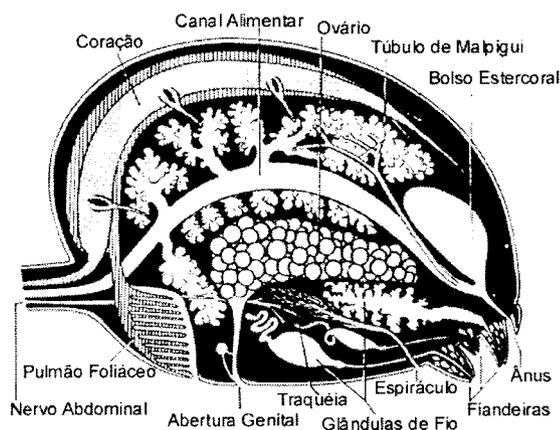


Fig.2. 22 Opistossoma ou abdômen de uma araneomorfa (alterada de Foelix 1996).

- musculatura abdominal atravessando longitudinalmente o dorso e ventre do opistossoma;
- musculatura dorso-ventral atravessando o abdômen intrasegmentalmente;

O coração apresenta poucas cavidades, aparecendo segmentado na metade anterior do abdômen, formado por um tubo muscular suspenso por ligamentos dorsais, ventrais e laterais numa larga cavidade (Fig.2. 24). Daí partem artérias que

lançam o sangue nos espaços tissulares e em um grande seio ventral que banha os pulmões foliáceos. A maior parte da hemolinfa arterial é direcionada ao sistema nervoso central e músculos esqueléticos. Acredita-se que o tecido muscular, com alta capacidade oxidativa são melhores supridos com hemolinfa (fluido semelhante ao sangue; o pigmento respiratório, ao invés da hemoglobina, é a hemocianina, que contém cobre).

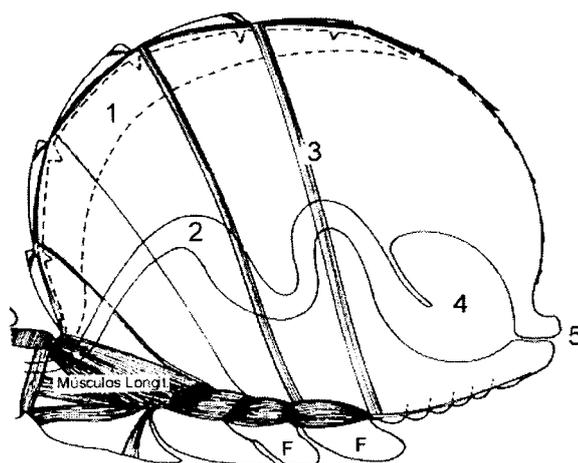


Fig.2. 23 Musculatura prosômica: (1) coração, (2) canal alimentar, (3) músculos dorso-ventrais, (4) bolso estercoral, (5) ânus, (F) fiandeiras (alterada de Foelix 1996).

A aorta anterior irriga cefalotórax e a parte anterior do abdômen com sangue oxigenado, e a aorta posterior irriga a parte posterior do abdômen, possuindo função de distribuição de elementos químicos, incluindo nutrientes, assim como provê oxigênio para as células do corpo.

O tubo cardíaco e o pericárdio agem como uma bomba de pressão (sístole – contração cardíaca) e sucção (diástole – relaxação cardíaca), resultando num fluxo contínuo de hemolinfa através dos pulmões foliáceos, o que assegura uma troca gasosa eficiente, embora o sangue na respiração tenha um papel pouco efetivo, com baixo consumo de oxigênio quando em o animal em repouso [Foelix 1996].

Nos animais encontramos dois tipos de mecanismos diferentes para iniciação dos batimentos cardíacos:

- miogênico (ex: moluscos e vertebrados): as células do coração, por si mesmas, espontaneamente exibem potenciais de ação que iniciam contrações rítmicas do

miocárdio;

- neurogênico (ex: aranhas): elementos neurais intimamente associados com o miocárdio (ou coração) geram romperes periódicos de potenciais de ação que são conduzidos às células do miocárdio, levando à contração.

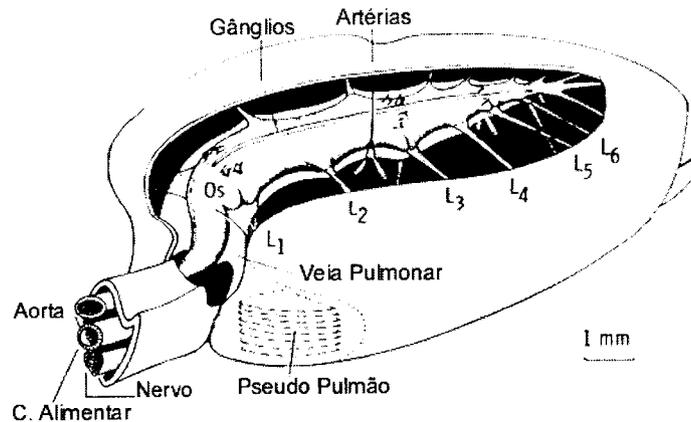


Fig.2. 24 Posição do coração no opistossoma: (L₁₋₆) ligamentos laterais, (Os) óstios (alterada de Foelix 1996).

Uma primeira indicação da origem dos batimentos nas aranhas vem do gânglio cardíaco, uma estrutura com forma de fio que jaz inter-dorsalmente no coração e estende-se por seu comprimento, contendo somas e vários axônios. Este se encontra em local comum às aranhas. Apesar dos batimentos serem controlados pelos gânglios cardíacos, o Sistema Nervoso Central pode também exercer uma atividade excitatória e inibitória sobre os batimentos cardíacos.

O gânglio cardíaco gera o comportamento oscilatório do miocárdio e, uma vez que removido, o coração cessa. Seus impulsos podem ser gravados em soluções fisiológicas. Sinapses neuromusculares estão presentes nas células do miocárdio e podem ser estabelecidas mais de uma sinapse entre uma célula do miocárdio e neurônios do gânglio.

Desta forma, a regulação da atividade cardíaca é feita através do gânglio, que inicia o batimento, coordena a contração síncrona das células do miocárdio e estabelece a taxa basal e a força dos batimentos. Uma ampla variedade de neurônios e substâncias químicas afetam o comportamento cardíaco.

Estimulações da massa nervosa do prossoma levam a alterações na taxa de batimentos cardíacos, verificado em 1905 por Carlson. A conexão neural entre o

SNC e o coração foi comprovada experimentalmente por Legendre (1968) e por Gonzalez-Fernandez e Sherman [Sherman 1985], que traçaram os ramos do nervo VIIIb (Fig.2. 11) no opistossoma para o gânglio cardíaco.

Segundo Barnes, a frequência de batimento cardíaco de uma aranha qualquer está entre 9 a 125 batimentos por minuto⁵, e estão intimamente ligados ao tamanho do corpo e à energia despendida na procura de alimento. A frequência cardíaca em pequenas aranhas caçadoras como as papa-moscas e tomisídeas (Thomisidae) é muito maior (100 batimentos por minuto, quando em repouso [Foelix 1996]) que nas grandes caranguejeiras (Theraphosidae). A pressão sanguínea de aranhas em repouso é equivalente à dos humanos, podendo se duplicar numa aranha ativa ou em fase de muda [Barnes, Ruppert 1996]. A pressão sanguínea faz com que as pernas se estendam em oposição aos músculos flexores. Saltam, por meio de uma elevação súbita da pressão sanguínea, até 50 vezes [Maddison 1995] seu comprimento corporal.

2.3. Estudo comportamental das aranhas saltadoras

Na corrente dissertação propõe-se um estudo mais abrangente sobre o comportamento de aranhas saltadoras deve ser, integrando os âmbitos etológico, fisiológico e psicofísico: por meio da etologia, temos a descrição, geralmente tendo com única ferramenta a observação, de como o animal se comporta em seu ambiente, possibilitando determinação de quais tipos de estímulos serão usados em experimentos psicofísicos, qual o impacto que o animal sofrerá durante o aprisionamento, etc.: através da fisiologia, estuda-se o funcionamento íntimo de células, tecidos, órgãos, sistemas, além do organismo como um todo, explicando os mecanismos bioquímicos e o comportamento natural das diversas estruturas que os compõem [Soares 1993], necessitando-se de instrumentos especiais e, usualmente invasivos, como exemplo, experimentos para verificação das sensibilidades espectrais associadas a cada camada da retina do animal. A psicofísica procura

⁵ Em humanos, temos um faixa de pulso média de 72 batimentos/min em homens adultos, 76 a 80 em mulheres adultas, acima de 140 em recém-nascidos, 90 em crianças e 50 a 65 em idosos.

esclarecer determinados comportamentos em função de estímulos aplicados pelo experimentador.

Apesar do mecanismo visual ser um dos aspectos mais importantes na comunicação das aranhas saltadoras (Fig.2. 25), há também comunicação através de vibrações [Barth 1982], tato, audição, além de substâncias químicas exaladas pelos indivíduos como estímulos olfativos [Pollard et. al 1987], como ocorre em machos de *Phidippus mystaceus* quando detectam a presença da fêmea. Uma característica interessante dentro da família Salticidæ é a relação inversa entre percepção olfativa e comportamento saltador aliado a percepção visual: quanto melhor a percepção olfativa, menor é a acuidade visual e menos saltadora é a salticida, permitindo a elaboração da tabela de Crane (1949), que divide as saltadoras em relação ao seu comportamento visual e olfatório [Jackson 1982].

Alguns gêneros cujo comportamento é primariamente ligado à olfação: *Cyrrba* sp., *Lyssomanes* sp. e alguns gêneros cujo comportamento é guiado, principalmente, pela visão: *Corynthalia* sp., *Cyllobellus* sp., *Euryattus* sp., *Portia* sp. e *Trite* sp [Pollard et. al 1987].

2.3.1. Etologia

A observação do comportamento foi a ferramenta mais utilizada na grande maioria dos trabalhos comportamentais, tanto etológicos quanto psicofísicos, de aranhas saltadoras. Já em 1894, observava-se o comportamento visual dessas aranhas pintando-se de diferentes cores, os indivíduos, para verificar alterações no padrão comportamental. Nesse caso a observação está voltada à inter-relação entre as aranhas [Forster 1982]. Apesar da sua utilidade, esse método apresenta suas limitações: são mais apropriados para sistemas desencadeadores, no qual posturas induzem respostas específicas e mais ou menos imediatas do receptor. Outros estudos etológicos de Salticidæ particularmente importantes:

- estudo do comportamento reprodutivo e desenvolvimento: um mês após a cópula, há oviposição. Os ovos se rompem após 3 semanas e as aranhas recém-nascidas se dispersam do ninho materno após 3 semanas. O macho sofre de 5 a 7 mudas e a fêmea de 6 a 8, sendo que a longevidade desta é maior. A receptividade para a cópula é de 1 a 8 meses, dependendo do habitat [Jackson 1978];

- mecanismos de defesa: ocorrência de camuflagem para proteção, como exemplo, presença de tufo de pêlos que lembram casca de árvore;
- estratégia de ataque: habilidade de tomar rotas indiretas para alcançar a presa, característica rara entre os invertebrados [Jackson 1978];

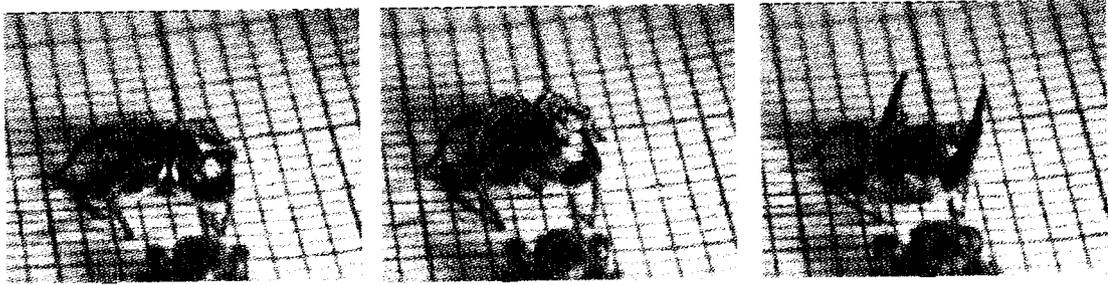


Fig.2. 25 Salticida macho cortejando fêmea: importância das cores e posturas no acasalamento <http://spiders.arizona.edu/Salticidæ/++Salticidæ/movies/spiderdances.html>.

Estudos do comportamento visualmente mediado permitiram dividi-lo em:

- *não discriminatório*: efetuado pelos olhos laterais, principalmente ligados a detecção de movimento; qualquer que seja o alvo (predador, presa ou parceiro), desde que ao menos dois receptores pouco espaçados sejam estimulados, eliciará o giro do cefalotórax, apontando os olhos principais (AM) na direção do alvo. Se o alvo se mover e partir rapidamente, a aranha irá caçá-lo e se o alvo correr em direção à aranha, esta irá fugir (provavelmente tal reação ocorra em virtude da estimulação repentina de uma grande parte da retina), contudo, sem que o alvo tenha sido identificado. Isso ocorrerá, desde que o alvo não seja maior que duas vezes o tamanho da aranha observadora. Assim, a fuga é resposta da aranha não consistente com processamentos discriminatórios precisos;
- *discriminatório*: mediado pelos olhos principais, que são o único par de olhos com capacidade de discriminação entre estímulos estacionários ou quase estacionários (presa ou parceiro), não ocorrendo quando esses são obstruídos. Comportamentos distintos exibidos:
 - resposta à presa: a aranha avança, segue, contrai as pernas e salta;
 - resposta à fêmea: o macho aproxima-se com posturas e movimentos específicos da espécie [Forster 1985];

2.3.2. Psicofísica

A maioria dos pesquisadores descreveram as aranhas Salticidæ em termos de seus adornos e posturas de forma diversa e imaginativa. Uma outra abordagem é a observação comportamental psicofísica, onde há manipulação de sinais (desenhos em cartão) para estimulação visual, observando quais as características mais importantes na cena, podendo se levantar questões quanto a capacidade de percepção, de resolução, sensibilidades espectrais, forma, tamanho e outros atributos da imagem. É de interesse, nesse tipo de estudo, quantificar através de tabelas, gráficos e/ou histogramas, quantas vezes a resposta esperada foi verificada.

Estudos de Forster utilizando cartões com desenhos [Forster 1985] mostraram que as tarefas de fugir de predador, caçar e copular possuem elementos comportamentais comuns, diferenciando-se tais comportamentos potencialmente através do movimento do estímulo visual (alvo) e seu tamanho:

- se o alvo fugir, a Salticidæ o perseguirá, seguindo-o até uma distância de 3 a 4 cm;
- alvo não será necessariamente identificado, basta que não seja mais que 2 vezes o tamanho dela para desencadear o interesse; de outra forma, a atitude é fugir do estímulo, pois este representa perigo (predador);

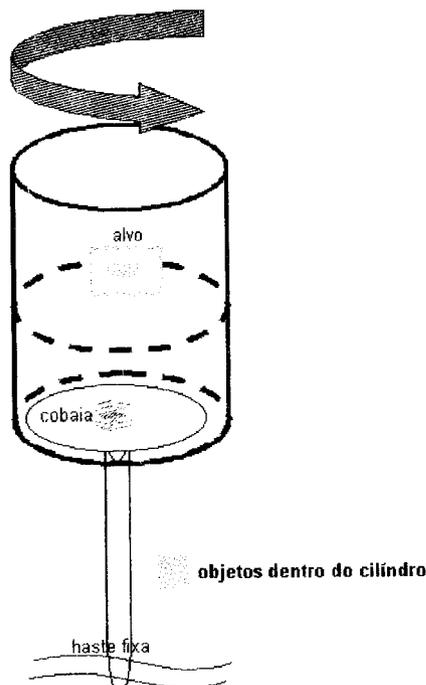


Fig.2. 26 Experimento de Forster: desenhos em cartão movimentando-se

O experimento de Forster consiste em um cilindro de 27 cm de diâmetro, com superfície interior branca, sobre a qual são colados os estímulos visuais (formas bidimensionais em papel) um a um. A Fig.2. 26 busca representar o esquema descrito em Forster 1985. Rotaciona-se o cilindro a velocidades que variam de 10 a 50 mm/s⁻¹ em torno da aranha que é deixada dentro do cilindro, movendo-se livremente. Verificou-se que as aranhas se interessavam pelos estímulos somente a baixas velocidades: a velocidades maiores, uma grande porcentagem de perseguições e capturas eram desencadeadas por alvos relativamente não atrativos, dessa forma sugerindo que a discriminação era menos precisa.

Através deste experimento, observou-se que:

- à baixas velocidades alguns estímulos eram mais atrativos (discriminação de padrões) que outros; com o aumento da velocidade, a maioria dos estímulos passa a ser atacada
- a assimetria é um parâmetro que desencadeia rejeição provavelmente devido à excitação retinal correspondente ser irregular.

Os eventos verificados por Forster para avaliar os parâmetros das formas são o interesse da aranha, isto é, se a aranha pula em direção à forma (desenho bidimensional) apresentada ou rejeita-a – a aranha se afasta ou se vira.

A utilização de cartões contendo diferentes formas, tamanhos, cores, etc., aparece também nas pesquisas desenvolvidas por Crane, Drees, além de Forster [Forster 1979, Forster 1982, Forster 1985]. Outros resultados de Forster sobre características dos estímulos envolvidas na discriminação foram:

- Velocidade de deslocamento do estímulo: ela verificou que a **12mm/s** (aproximadamente 4 pixels por milissegundos no software da Fig.3. 15), a discriminação visual era mais efetiva para essas figuras;
- Tamanho do estímulo: **5 mm** de largura **por 7 mm** de altura. Com o aumento das dimensões, há desinteresse e gradativamente aumento da rejeição aos estímulos; Esse tamanho foi ótimo para aranhas da espécie *Trite planiceps*.
- Alega-se que esse comportamento espacialmente preciso corresponde à projeção de uma imagem apropriada nos receptores de cada um dos olhos AL dentro de suas regiões de sobreposição binocular (mecanismo de percepção de profundidade). Uma outra característica pesquisada foi a discriminação espacial,

que decresce progressivamente com a redução da iluminação. Verificou-se que somente os olhos principais podem funcionar com luzes de comprimento de ondas maiores e/ou condições de iluminação reduzida.

Concluindo seus estudos, Lyn Forster identifica como estimuladores externos observados pela aranha no alvo:

1. movimento;
2. forma;
3. tamanho;
4. presença de pernas, além de seu tamanho, grossura e posição.

Tabela 2. 1 Resposta da aranha *Trite planiceps* quando apresentando formas em movimento às respectivas velocidades (Forster 1985).

Shape	N	Speed mm s ⁻¹	% C	% R	Speed mm s ⁻¹	% C	% R
1 	10	12	60	0	50	70	0
2 	20	12	95	0	50	80	0
3 	14	12	40	0	-	-	-
4 	15	12	66	0	25	86	0
5 	14	12	64	0	25	64	0
6 	10	12	0	40	-	-	-
7 	14	12	60	0	-	-	-
8 	10	12	0	70	50	0	70
9 	15	12	0	30	-	-	-
10 	20	12	5	0	50	40	0
11 	20	12	0	0	50	40	0
12 	27	12	0	0	50	35	0

N: número de aranhas testadas.

%C: porcentagem de captura (aranhas que saltaram no alvo).

%R: porcentagem de rejeição (aranhas que rejeitaram o alvo).

A partir desse estudo, ela montou a Tabela 2. 1, onde se relata as formas utilizadas como estímulos visuais (primeira coluna), número de aranhas testadas

(segunda coluna), velocidades testadas (terceira e sexta colunas), porcentagem de tentativas de captura (quarta e sétima colunas), porcentagem de rejeição (quinta e oitava colunas).

2.4. Variabilidade da taxa cardíaca (HRV)

O conceito cardiovascular de homeostase se refere à tendência do organismo a manter uma taxa cardíaca e pressão sanguínea relativamente regular em face das condições ambientais. Entretanto nenhuma variável fisiológica dará uma série temporal absolutamente estacionária ou perfeitamente periódica. Flutuações espontâneas podem ser observadas nas funções cardiovasculares, mesmo quando as condições ambientais são bem controladas. Desde que se descobriu sobre a possibilidade desta flutuação, a variabilidade da taxa cardíaca ou HRV tem sido amplamente estudada, permitindo a previsão de patologias coronárias [Mäkikallio et al 1998].

A variabilidade da taxa cardíaca, também chamada de variabilidade de período cardíaco é uma informação a partir de processamentos de dados obtidos por meio de exames não invasivos (geralmente, ECG) de grande importância para o estudo do sistema nervoso autônomo, em humanos, além de ser uma medida relativamente fácil de ser coletada. A regulação da taxa cardíaca, como toda regulação fisiológica, é feita para manutenção da homeostase. Assim, a HRV pode indicar tanto mudanças na homeostase como a inabilidade do corpo de reagir a essas mudanças. Essa variabilidade é quantificada através de medidas do comprimento de batimentos cardíacos consecutivos no tempo. Por convenção, os batimentos são medidos (milissegundos) de pico a pico das ondas R do batimento cardíaco humano, geralmente, sendo este tempo referenciado como intervalo RR ou intervalo entre batimentos [Mäkikallio et al 1998].

As mudanças no comprimento de intervalos RR – sua variabilidade – pode ser determinada de várias maneiras, sendo comum tanto análises no domínio temporal quanto freqüencial. Medidas no domínio do tempo usam médias lineares típicas de contraste de intervalos RR em relação ao intervalo médio, como exemplo a média dos intervalos entre batimentos. A análise freqüencial usa métodos não lineares como a Transformada de Fourier Rápida (FFT) ou análise regressiva para

determinar a que frequências a variabilidade se situa. Este tipo de análise tem provado ser valiosa uma vez que a causa fisiológica da variabilidade pode estar ligada a uma determinada banda de frequência. Recentemente, a teoria do Caos [Kozma et al. 1997] também tem sido aplicada na análise de HRV [Bloomfield 1946].

Na corrente dissertação procuraremos utilizar interbeats para caracterização dos batimentos cardíacos, embora o comportamento do coração da aranha seja diferente: elas não possuem movimentos cardíacos sistólicos e diastólicos que geram ondas P, Q, R, S e/ou T.

2.4.1. Batimentos cardíacos em aranhas

Pouco foi encontrado sobre o batimento cardíaco de aranhas. Um trabalho particularmente interessante é a pesquisa abordada por Sherman [Sherman 1985], que através de estimulações elétricas da massa nervosa no prossoma (cérebro e gânglio subesofágico), mostra a inibição e aceleração dos batimentos cardíacos, indicando conexões nervosas diretas entre o sistema nervoso e o coração. Os neurônios da massa nervosa prossômica modulam a atividade periódica do gânglio cardíaco, alterando a taxa de batimentos, um indício da alta conectividade do sistema nervoso central e do coração.

2.5. Controle das pernas por meio de pressão da hemolinfa: músculos do prossoma ou coração?

É conhecido que a pressão da hemolinfa envolvida na extensão das pernas está ligada à contração de certos grupos de músculos. Através de testes fisiológicos descobriu-se que a mudança de pressão nas pernas é significativamente mais alta em relação à pressão abdominal durante a atividade locomotora. Porém, verificou-se experimentalmente grande correlação entre a pressão das pernas e do prossoma, onde movimentos da carapaça desencadeavam a extensão das pernas [Anderson, Prestwich 1975].

Questiona-se se o movimento das pernas não estaria ligado a outras atividades como o aumento da pressão da linfa em virtude do aumento da atividade cardíaca, não descartando a possibilidade de movimentos repentinos de músculos da parede abdominal. A relação da atividade cardíaca com o movimento das pernas parece ser bastante restrito devido a uma observação de Wilson, realizada acidentalmente durante nossa pesquisa: mesmo com a separação da aranha entre o abdômen e o cefalotórax, o cefalotórax pode se mover independentemente durante mais de 10 minutos.

Como foi discutido na seção 2.3.2., a contração e o relaxamento das pernas são auxiliados pela pressão da hemolinfa, fato conhecido desde de 1944, com Ellis [Anderson, Prestwich 1975]. Muitos autores acreditam que o coração seja o responsável pelo aumento da pressão da hemolinfa, porém desde de 1959, a hipótese mais aceita é que alguns músculos do prossoma sejam responsáveis por essa pressão. Gravando-se a pressão das pernas simultaneamente à do prossoma, como mostrado na Fig.2. 27, verificou-se que a “bomba de pressão”, propriamente, que proporciona dilatação e contração das pernas localiza-se no prossoma, resultado da atividade de conjuntos de músculos, que atravessam a carapaça verticalmente, ligados à endosternite: um elemento esquelético interno (“cartilagem”) que pode ser movido por esses músculos de forma a reduzir o volume de determinados compartimentos do prossoma e causar aumentos de pressão transiente envolvidos na locomoção. Wilson, em 1970, [Anderson, Prestwich 1975] pôde inclusive verificar um movimento de abaixamento da carapaça cefalotorácica numa aranha estimulada [Foelix 1996].

O aumento de pressão com origem no prossoma é uma hipótese razoável considerada por vários biólogos contemporâneos, dentre eles David Hill (Marshall University), Rainer F. Foelix (UCB, EUA) e Christian Platner (Universitaet Goettingen, Alemanha).

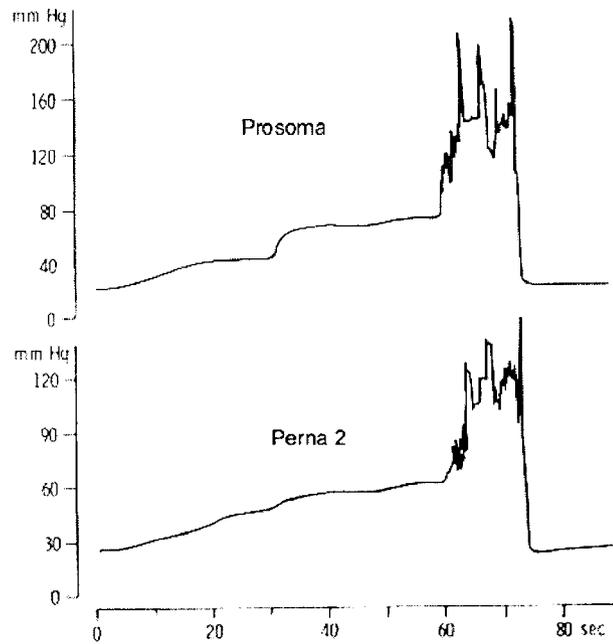


Fig.2. 27 Gravação sincronizada da pressão no prosoma e no 2º par de pernas de uma aranha caçadora: tarântula (alterada de Foelix 1996).

2.6. Mecanismos de aprendizagem

Até recentemente, os mecanismos neurofisiológicos implícitos na aprendizagem e memória se limitavam à especulação. Atualmente, o comportamento aprendido é caracterizado pela persistência de um padrão comportamental sobre o tempo, embora isso pareça contradizer os conceitos de excitabilidade neural e transmissão sináptica [Farley, Alkon1985].

Existe muita incerteza ainda quanto ao exato mecanismo de longo prazo de armazenamento de informação, mesmo com o grande crescimento da pesquisa em plasticidade neural e mecanismos celulares de aprendizado e um modesto sucesso na localização dos lugares dentro do sistema nervoso. Assim, é coerente o estudo do sistema nervoso da aranha saltadora como caixa preta, ou seja, um objeto cuja estrutura interna é desconhecida, mas que pode ser estudada em termos de entradas e saídas.

A aprendizagem dos invertebrados é caracterizada de duas maneiras: não associativa, ou seja, não há condicionamento ao estímulo (reflexo), apresentando respostas a um determinado estímulo durante um tempo, então há adaptação, com

retenção de informação durante um curto período e associativa, ou seja, associação entre estímulos, quando os indivíduos desencadeiam um determinado comportamento em função de interpretação do estímulo, com especificidade para estímulo. As principais características do comportamento aprendido associativo são:

- retenção de longo prazo, definida arbitrariamente em modelos de invertebrados como permanência por no mínimo 24 horas [Farley, Alkon1985];
- especificidade quanto a estímulo–resposta;
- um moderado grau de reversibilidade por experiências subseqüentes (plasticidade), sendo que esta última característica descreve também o comportamento não associativo.

2.7. Conclusões

A utilização de sinais biológicos provenientes da aranha, um sistema altamente integrado (verifica-se uma relação intrínseca do sistema visual, sistema nervoso central e sistema circulatório), é representativo como forma de caracterizar seu sistema visual, sendo que para uma completa caracterização, é necessário englobar questões nos âmbitos etológico, fisiológico e psicofísico.

Existem diversos trabalhos sobre a aranha saltadora, porém a grande maioria descreve o comportamento somente por meio de estudos observacionais – acrescentando o processamento de sinais biológicos a essa abordagem, tem-se informações mais objetivas, usando um aparato instrumental laboratorial de custo acessível.

3. Metodologia: manutenção de cobaias e instrumentação eletrônico-computacional

O corrente trabalho dedica-se à pesquisa psicofísica de Salticidæ, bem como a aplicação de uma instrumentação eletrônica alternativa para o estudo de comportamento de aranhas saltadoras frente a estímulos controlados por computador, quantificando-se a percepção da aranha saltadora.

Esse trabalho visa caracterizar aspectos da percepção da aranha, pois esta representa uma fonte de informação para a eventual solução de problemas de visão, particularmente em reconhecimento de padrões, através de detecção de estímulos retos [Costa 1999]. Num problema intrinsecamente ligado à visão, por que utilizar sinais biológicos, como micromovimentos (incluindo o batimento cardíaco) para análise fisiológica do processamento visual? O fundamento foi o princípio amplamente estabelecido em neurologia de que os batimentos estão intimamente ligados ao processamento dos estímulos no sistema neural [Schmidt 1976], do qual faz parte o sistema visual, além de que se verificou forte correlação entre estímulos e micromovimentos associados a deslocamentos corpóreos.

Será que os estímulos visuais transformados em impulsos elétricos desencadeiam modulações sobre os sinais cardíacos? Além do batimento cardíaco, uma outra informação representativa é o movimento das pernas uma vez que são inervadas pelo gânglio subesofágico e dependem da pressão da hemolinfa para contração ou relaxação. O diagrama da Fig.3. 1 ilustra nossa hipótese do caminho percorrido pelo impulso nervoso e sua zona de influência: dado um estímulo visual, esse é transformado num impulso nervoso no cérebro, do qual faz parte o sistema visual, e propagado em direção ao gânglio supraesofágico e coração neurogênico.

É objetivo da corrente dissertação investigar formas de caracterizar processamentos no SNC em virtude do estímulo visual, através de diferentes informações:

- micromovimentos do corpo e membros, os quais modulam a amplitude do sinal de maneira característica e são intimamente correlacionados com os estímulos visuais apresentados;
- alterações na frequência cardíaca em virtude de reconhecimento de formas,

supondo uma repercussão do impulso nervoso sobre o SNC;

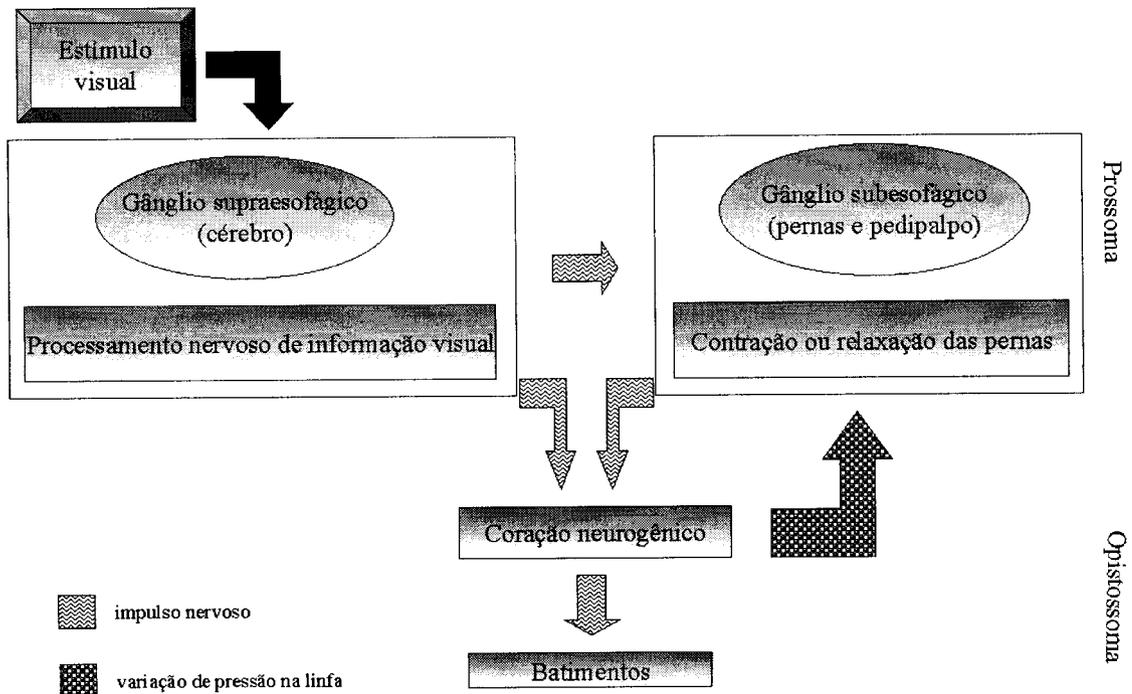


Fig.3. 1. Hipótese de repercussão do impulso nervoso nos potenciais de ação do gânglio cardíaco e movimento de apêndices.

Uma dúvida freqüente à nossa pesquisa é sobre a relevância dessa informação cardíaca como tradutora dos processos neurológicos na aranha saltadora. O comportamento diante dos estímulos visuais serão representados tanto pelo coração quanto pelas pernas, traduzindo reações do sistema nervoso central.

As pernas serão estudadas através da presença ou ausência de resposta ao estímulo visual, ou seja, se há movimentação relacionada a estímulos visuais específicos e se a taxa de ocorrência de resposta é a mesma para diferentes estímulos visuais e de mesmas dimensões, mostrados sob mesmos movimentos.

O coração é estudado em termos de *interbeats* (histogramas de ciclos de batimento) e da variação de freqüência principal de batimento.

3.1. Requisitos para aquisição de dados

A obtenção dos dados (parâmetros observados e medidos) para processamento envolve empenho na coleta das cobaias, manutenção das mesmas em cativeiro, submissão dessas a experimentos confiáveis, ou seja, garantindo-se que a amplitude do sinal seja ao menos duas vezes maior que a do ruído (frequências espúrias inerentes do suprimento de força), além de ser acima 30mV. Alguns requisitos importantes são descritos minuciosamente no Apêndice A.

Os métodos de coleta não foram muito explorados devido à larga distribuição de *Salticidæ* na região de São Carlos, sendo suficiente a captura com pequenos recipientes com tampa, armazenando as cobaias separadamente. Foram selecionados indivíduos de vários gêneros (*Metaphidippus*, *Plexippus*, dentre outras) que estivessem maduros (possuem os órgãos sexuais desenvolvidos, permitindo-se diferenciação entre macho e fêmea), pois estes possuem sistema de visão mais desenvolvido que o dos jovens.

Nosso intuito é medir os batimentos cardíacos, uma vez que estes se relacionam com o processamento dos estímulos no sistema nervoso [Schmidt 1976], além de movimentos provenientes do animal, uma vez que podem expressar reação a estímulos externos.

Utilizando-se de um método bastante simples, desenvolvido por John R. B. Lighton (Universidade de Nevada) [Carlson 1996], o pesquisador Leandro Estrozi [Estrozi, Costa 1998] (Grupo de Pesquisa em Visão Cibernética, IFSC) montou, sob a orientação do Prof. Luciano da F. Costa, um detetor eletrônico de movimentos com precisão de micros. Este aparelho, cujo custo aproxima-se de trinta dólares, utiliza basicamente ímãs e um HET (Hall Effect Transducer), transdutor capaz de medir variações no campo magnético.

Os sinais de batimento são capturados pelo sensor, passam pelo amplificador, pelo filtro, o sinal analógico é convertido em um sinal digital através de interface analógico/digital e então entra no microcomputador pela placa de som. O controle da aquisição de sinais e estimulação são feitas através do **programa gerenciador dos experimentos**, implementado como parte deste trabalho, usando Delphi[®], com colaboração de Leandro Estrozi. Este programa controla a captura dos sinais provenientes de micro deslocamentos da aranha.

Esse capítulo explica, primeiramente, toda a montagem do nosso aparato, incluindo o “estetoscópio de invertebrado” proposto por Lighton, alguns resultados preliminares, problemas encontrados com os primeiros estímulos visuais elaborados e, então, relata-se detalhadamente o software desenvolvido para aquisição de dados.

3.2. Instrumentação eletrônica

O sensor, juntamente com o amplificador formam um “estetoscópio” (Fig.3. 2) para invertebrados e privilegiam a captura dos micromovimentos da cobaia através de um minúsculo ímã, aproximadamente cilíndrico ($r = 1\text{mm}$ e $h = 2\text{mm}$), fixado no abdômen, onde fica o coração. Possuindo um detetor de micromovimentos, é possível verificar as batidas cardíacas da aranha simultaneamente à apresentação de estímulos visuais, podendo gravá-las com auxílio do computador. Ao longo do desenvolvimento das pesquisas, a instrumentação eletrônica permaneceu praticamente igual, salvo mudanças na fonte de estímulos para a aranha saltadora.

Inicialmente, os estímulos visuais ocorrem por meio de variações de luminosidade (“entradas”). As reações são detectadas (respostas fisiológicas), em função dos sinais biológicos da aranha (“saídas”), incluindo o batimento cardíaco. O controle é feito utilizando um software desenvolvido em Delphi[®] como forma de se obter conclusões mais objetivas, detectando micromovimentos, além de quaisquer alterações em sua frequência ou amplitude.

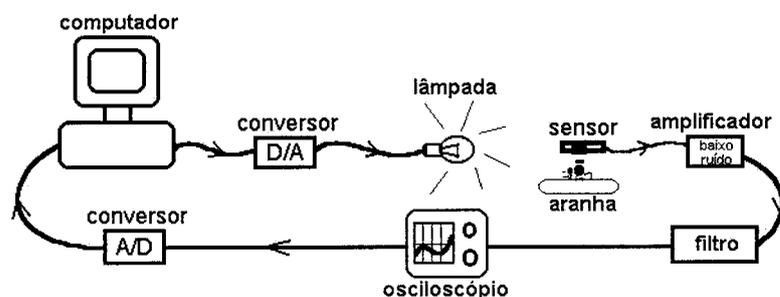


Fig.3. 2 Aparato experimental utilizado na primeira fase da pesquisa.

Buscou-se identificar os padrões típicos de batimentos frente a situações bem controladas. Com os sinais obtidos, têm-se um conjunto de dados que permite

concluir quais são os padrões de oscilação tipicamente associados a estados do animal, particularmente no que se refere ao batimento padrão (batimentos da aranha sem exposição à estímulos) e permite verificar o relaxamento e atenção, mediante verificação de deslocamentos corpóreos da aranha.

Descreve-se, a seguir, cada um dos blocos representados na Fig.3. 2.

3.2.1. Sensor de micromovimentos

O Sensor de micromovimentos é o modelo SS94A1F da Honeywell Micro Switch, com sensibilidade de 25 ± 5 mV/Gauss a 25° C, ou seja, este dispositivo varia sua saída em 25 mV para cada deslocamento de um Gauss num campo magnético. Amplificando propriamente e condicionando-se esta tensão, o campo magnético pode ser medido por um computador.

Uma vez que o campo magnético terrestre ($5 \cdot 10^{-5}$ Tesla) está sempre presente, o sinal inclui uma componente residual (um sinal de tensão constante grande) criada pelo magneto e a Terra. No topo dessa tensão estarão as pequenas variações produzidas pelo movimento do magneto, ou seja, os micromovimentos. Para evitar a tensão constante, gerada pelo campo magnético terrestre, é necessário um amplificador de instrumentação e um filtro (Fig.3. 3).

Sabe-se que todos os ímãs são dipolares, pólos que se cancelariam se não houvesse o comprimento entre eles. Essa propriedade de autocancelamento faz o campo magnético cair rapidamente sobre o espaço. Triplicando-se o comprimento do ímã, reduz-se o campo magnético 27 vezes – o cubo da distância. Quanto mais próximos os pólos, mais rápido o campo magnético varia sobre a distância. Utilizando pequenos magnetos de terra-rara (NdFeB = neodímio de ferro-boro), captura-se facilmente variações de campo magnético.

3.2.2. Amplificador de instrumentação e filtro

O amplificador de instrumentação e filtro (Fig.3. 3) consistem em:

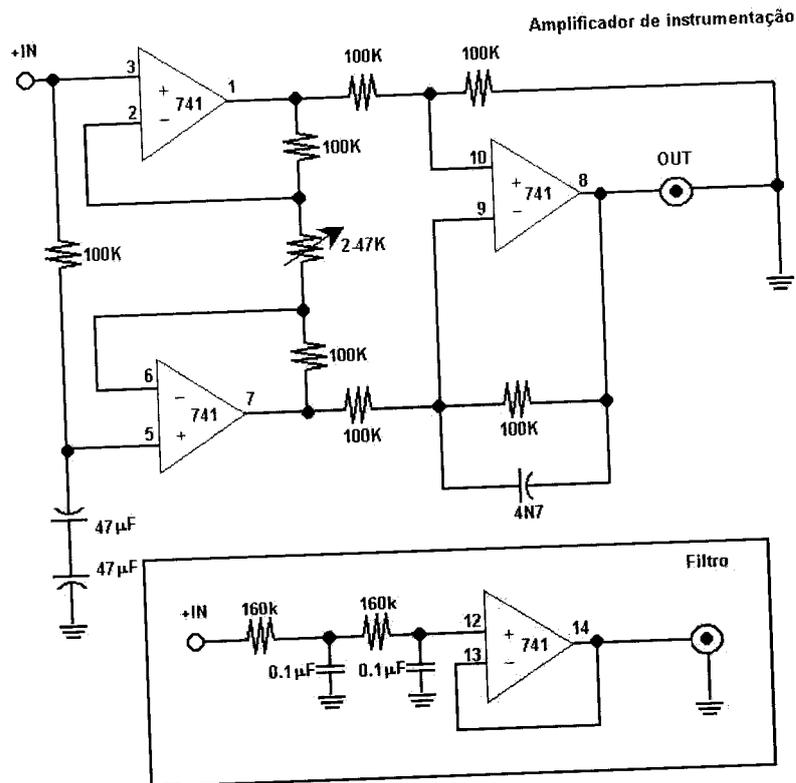


Fig.3. 3 Amplificador de instrumentação e filtro..

- 4 amplificadores operacionais tipo 741: configuração para detectar somente a variação do sinal;
- capacitores: dois de $47\mu\text{F}$ eletrolítico, dois de $0.1\mu\text{F}$ cerâmicos e um de 4N7: utilizados na composição dos filtros e eliminação de ruído;
- 7 resistores de $100\text{K}\Omega$, 2 resistores de $160\text{K}\Omega$: utilizados na composição dos filtros;
- um potenciômetro de $2 - 47\text{K}\Omega$: para variação do ganho atribuído ao sinal;
- diferente do projeto original proposto [Carlson 1996], a alimentação do sensor é assimétrica, com 10V na entrada positiva e aterramento da entrada negativa, eliminando o regulador de tensão 7805;
- alimentação por baterias.

3.2.3. Entrada de dados: interface com o computador

A entrada dos sinais é feita através da placa de som, utilizando o *plugin* do microfone (veja Apêndice A). Esta possui mecanismo de conversão analógico-digital embutido,

propiciando que se armazene os sinais no micro, utilizando o programa gerenciador de experimentos.

3.2.4. Calibração da instrumentação eletrônica para detecção de micromovimentos

A fim de verificar se a instrumentação eletrônica possui suficiente sensibilidade para a captação dos sinais na faixa de frequência característica de batimento (a frequência fundamental de batimento cardíaco da aranha saltadora está entre 2.5 a 6 Hz), construiu-se um mecanismo (Fig.3. 4) para mimetizar os micromovimentos provenientes da cabaia, com ajuda do pesquisador Leandro F. Estrozi e outros integrantes do Cybernetic Vision Research Group.

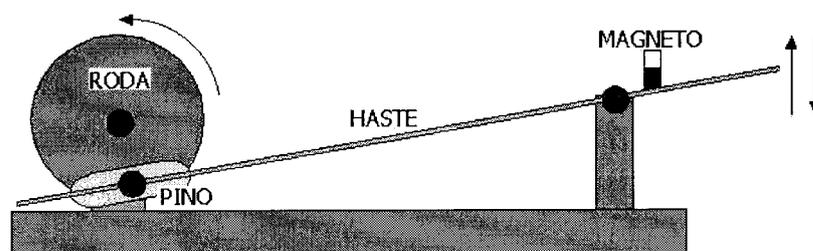


Fig.3. 4. Esquema da montagem experimental para calibração da instrumentação eletrônica.

A montagem experimental representada consiste de um motor ligado a uma roda, o qual permite controlar a velocidade de rotação. Um pino móvel na roda dá liberdade de deslocamento à haste durante a rotação, utilizando o mesmo princípio da roda de trem. Este mecanismo é capaz de efetuar micro deslocamentos da haste a diferentes frequências e amplitudes. Para que esses micromovimentos sejam captados por nosso aparato, um ímã é colado na haste e, sobre ele, é posicionado o sensor. O objetivo é que frequências de oscilação da haste possam ser controladas de maneira precisa. Assim, pudemos captar, amplificar, filtrar e analisar uma série de sinais que nos permitiram estimar a sensibilidade da instrumentação em função de variadas frequências.

Na Fig.3. 5, mostra-se, da esquerda para a direita, o amplificador, o sensor fixado (primeira base de alumínio), uma haste de latão presa ao pino móvel da roda

(segunda base de alumínio). Para que a roda gire em menor velocidade, ela foi ligada ao motor através de um redutor (terceira base de alumínio), uma outra roda, sendo esta ligada ao motor. Assim, possibilitou-se que a haste efetue deslocamentos de baixa frequência.

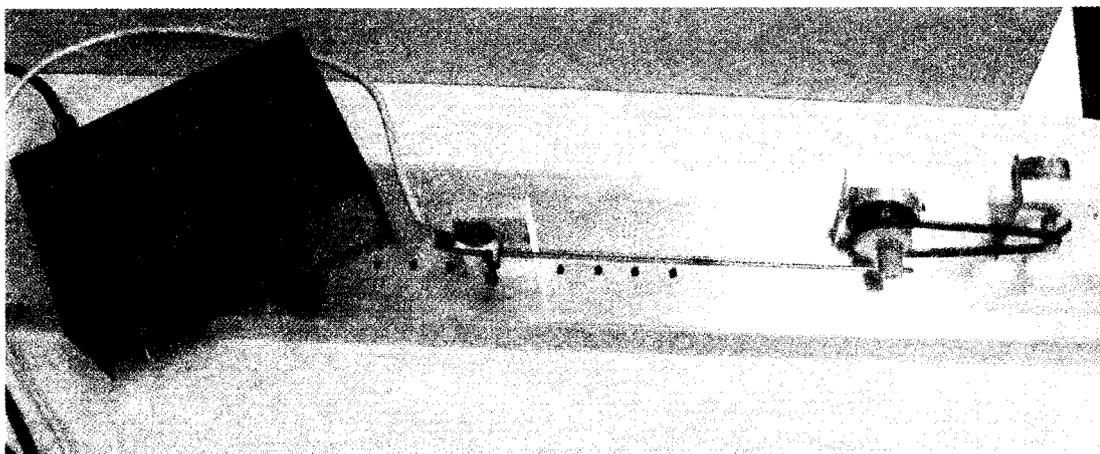


Fig.3. 5 Foto da montagem experimental para calibração da instrumentação eletrônica.

Algumas medidas importantes para entender a geometria da montagem experimental para calibração representada na Fig.3. 6 são:

- $r = 10 \text{ mm}$
- $L = 180\text{mm}$, distância entre o eixo da roda e eixo da haste;
- $R = 200\text{mm}$ (comprimento efetivo da barra), porém variável em relação ao pino da roda, pois indica a distância do eixo da haste ao pino da roda;
- $d = 1\text{mm}$ e é a distância entre eixo da haste e o magneto;
- $\theta =$ varia entre 0° a 360° : o movimento de rotação.

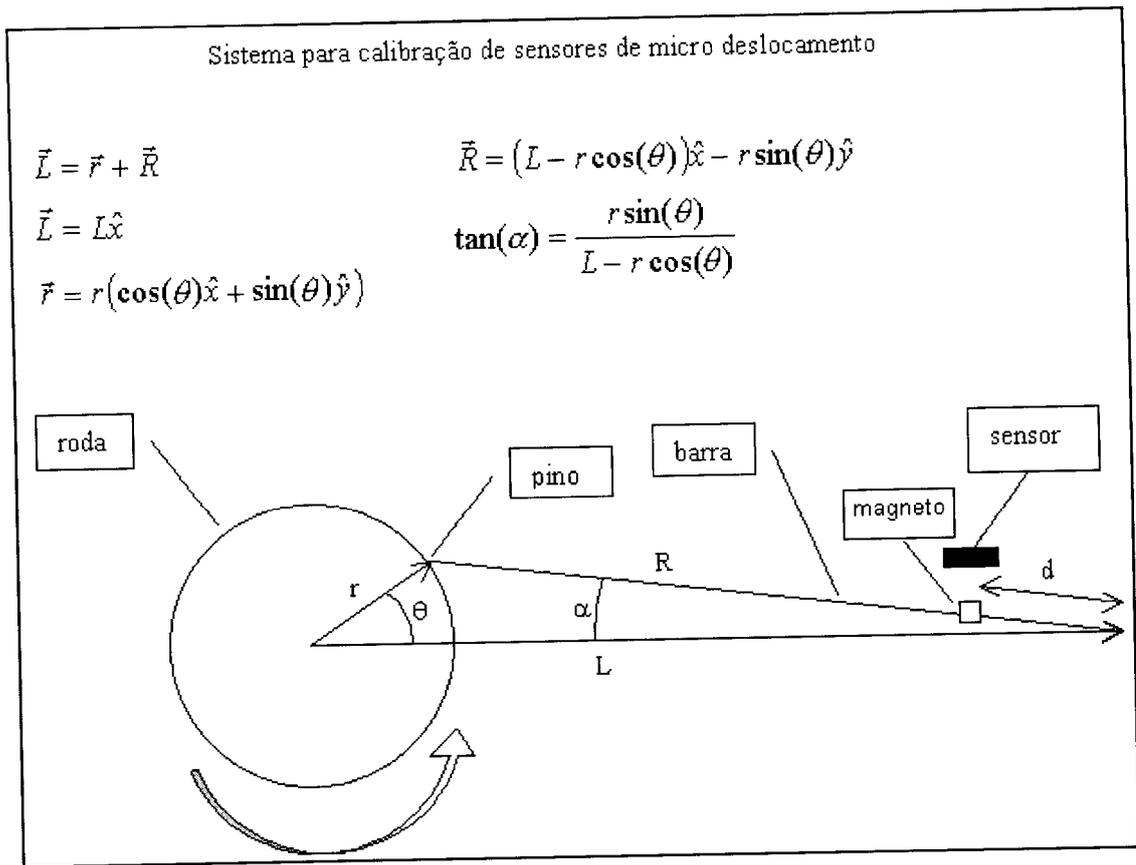


Fig.3. 6. Aparato instrumental que mimetiza o batimento cardíaco e relação entre as variáveis dimensionais

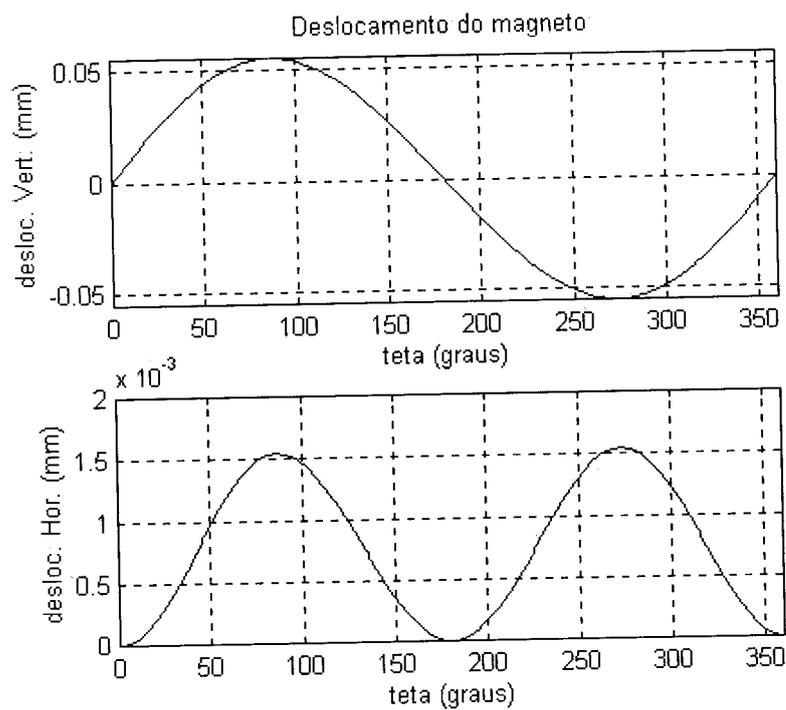


Fig.3. 7. Deslocamento periódico do magneto para um giro completo da roda: a) deslocamento vertical em mm do magneto; b) deslocamento horizontal em mm do magneto.

$$d_v = d \cdot \sin(\alpha)$$

$$d_h = d \cdot \cos(\alpha)$$

Na Fig.3. 7 mostra-se o deslocamento vertical e horizontal da haste, e conseqüentemente, do magneto colado nela em função de θ , ângulo de giro da roda. O deslocamento vertical ($d_v=50\mu\text{m}$) do magneto é bem maior que o deslocamento horizontal ($d_h=1.5\mu\text{m}$), sendo dados pelas equações acima, respectivamente. O deslocamento vertical mimetiza o batimento cardíaco

A oscilação do magneto viabilizará a simulação de micromovimentos em diferentes freqüências, de acordo com a velocidade da roda, permitindo caracterizar a sensibilidade do aparato de medição (Fig.3. 8) para diferentes oscilações. Na Fig.3. 8, observa-se que as baixas freqüências são privilegiadas, principalmente na faixa de batimento característica da aranha saltadora.

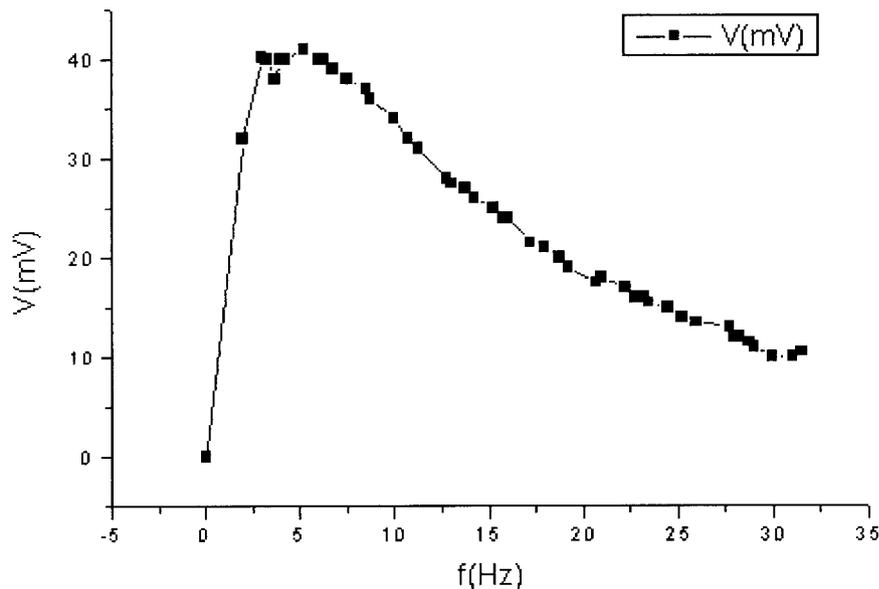


Fig.3. 8. Gráfico de decaimento da amplitude (V) em relação à freqüência (f).

Afirmamos que o amplificador não embute atrasos no sinal, ou seja, a fase do sinal de entrada é a mesma do sinal de saída..

3.3. Resultados preliminares

Os estímulos visuais foram inicialmente aplicados através de uma lâmpada incandescente e foram de cinco tipos diferentes: sem estímulo (luz apagada), acesa constantemente durante os 30 segundos, dois pulsos de luz, uma onda quadrada (apagado, aceso e apagado) e variação senoidal da luz (Fig.3. 9). A interface gráfica do programa responsável pelo gerenciamento do experimento nessa fase inicial é mostrada na Fig.3. 10

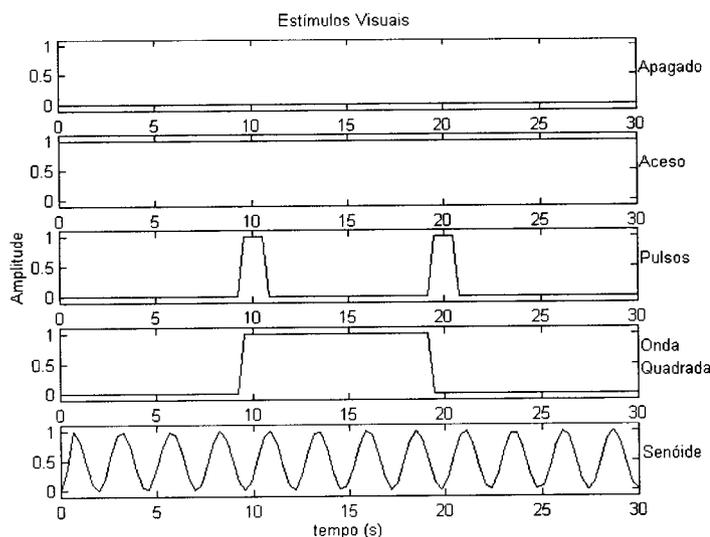


Fig.3. 9 Estímulos visuais: linha em 0 indica lâmpada apagada; linha em 1 indica lâmpada acesa.

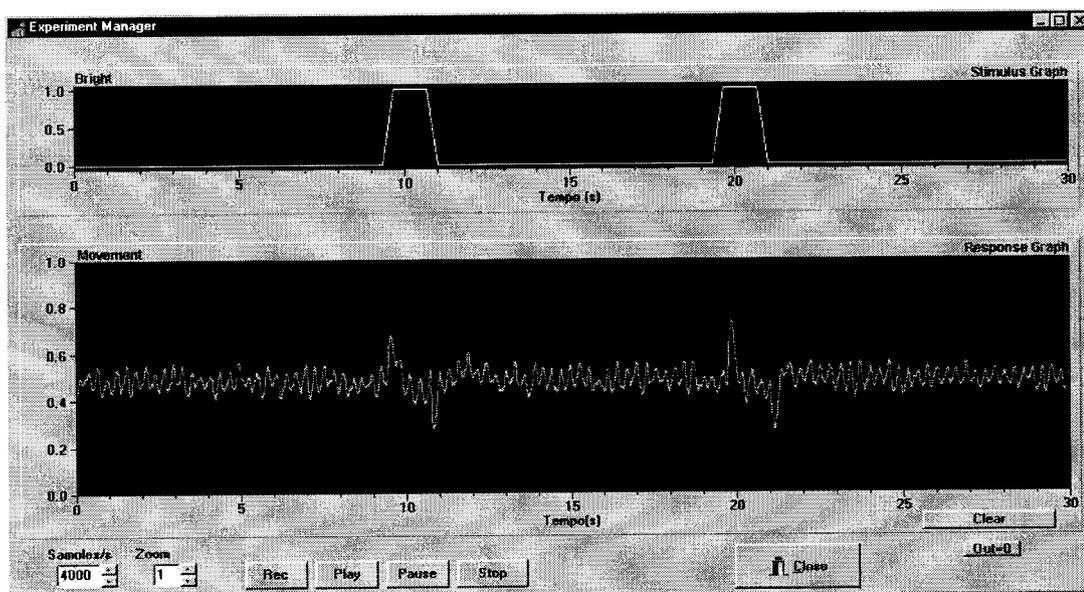


Fig.3. 10. Interface do software inicial: janela superior = estímulo visual; janela inferior = gravação de micromovimentos, influenciada pela luz da lâmpada como estímulo visual.

Um problema encontrado nessa abordagem foi que houve influência da lâmpada na maioria dos experimentos que havíamos realizado, pois a lâmpada gerava variações no campo magnético e era também capturada pelo sensor, descaracterizando possíveis reações do batimento e, muitas vezes, consistindo na única forma de reação. Como não houve critérios suficientes na aquisição dos dados, não se pôde afirmar com certeza sobre o comportamento cardíaco relacionado aos estímulos visuais testados (Fig.3. 9). Os dados estavam comprometidos. Era necessário reiniciar a aquisição, garantindo que os estímulos utilizados não influenciassem os sinais da aranha.

Devido à reduzida relevância desta primeira fase, ela não será mencionada. Segue-se as descrições de acordo com a forma de aquisição utilizada atualmente.

Algum tempo foi despendido com dados inválidos, como a elaboração de um modelo sobre as perturbações luminosas sobre os batimentos cardíacos. Pressupúnhamos que o batimento cardíaco fosse, aproximadamente, o resultado de duas operações matemáticas lineares: primeiro uma segunda derivada, e então um filtro gaussiano para suavização – uma versão passa-alta filtrada dos estímulos visuais luminosos ao longo do tempo. Os modelos de comportamento cardíaco (Fig.3. 11) tiveram que ser abandonados. Entretanto, essa fase permitiu uma maior familiarização com a própria *Salticidæ*, com o aparato e a forma de estimulação e aquisição dos sinais biológicos. Graças a esses entraves, uma nova abordagem foi elaborada, desta vez, considerando imagens bidimensionais monocromáticas de formas variáveis como estímulos visuais.

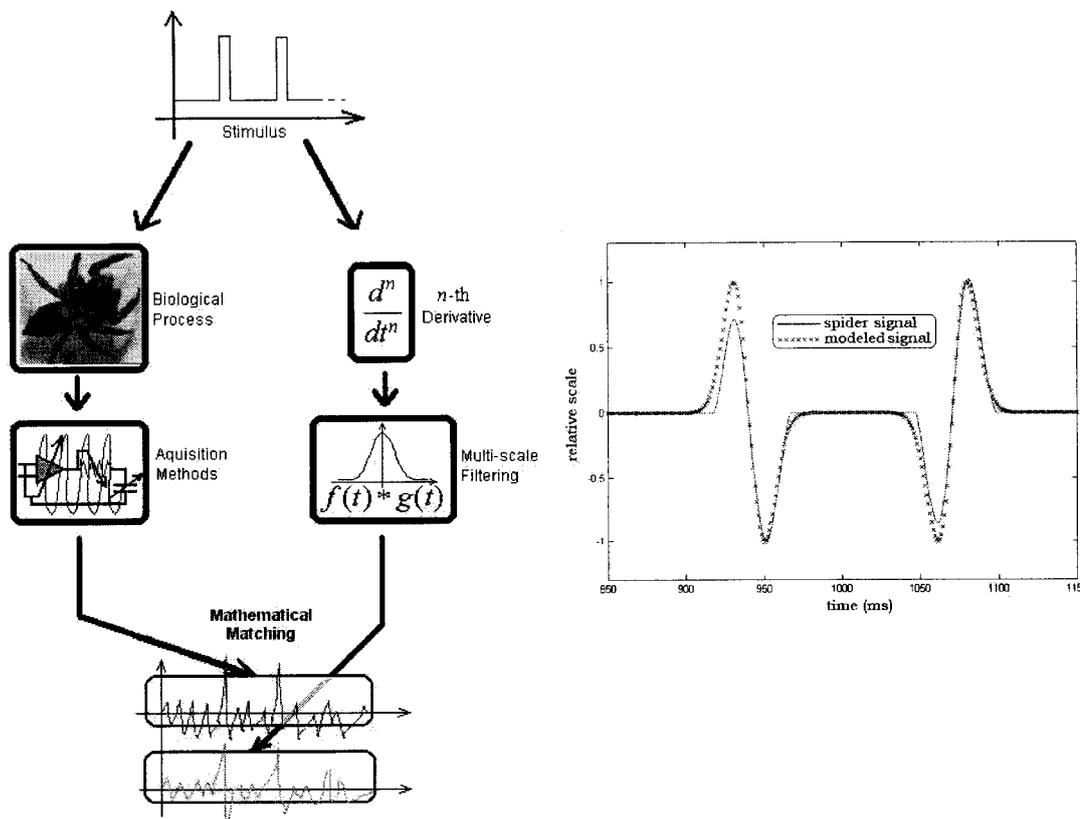


Fig.3. 11 Modelo da reação da aranha, como um sistema linear, ao estímulo visual.

3.4. Estímulos visuais apresentados em monitor: segunda fase do trabalho

Iniciamos, então, uma segunda fase de experimentos, deixando de utilizar variações luminosas através da lâmpada incandescente em favor de estímulos produzidos no computador e mostrados num monitor (Fig.3. 12); estes, mais elaborados visualmente, permitem melhor inspeção do aparato visual da aranha, do ponto de vista experimental psicofísico. Não foi verificada a interferência de radiação do monitor sobre o sensor, mesmo colando-se o sensor sobre o monitor (Samsung SyncMaster 700s, resolução: 1024 X 768), enquanto esse piscava um conjunto de pixels, cujas cores foram variadas para garantir a validade de novos experimentos, onde se use cor.

O software aquisição níveis de tensão com resolução de 16-bits (0 a 65535) atualmente (o programa inicial possuía 8-bits de resolução) e amostra-os a diferentes frequências, tendo 4000 Hz como padrão. O programa gerencia o experimento, permitindo mudanças na taxa de amostragem, controle dos estímulos

visuais: substituindo os pulsos de luz da primeira fase, na segunda temos estímulos visuais em movimento, cuja velocidade, frequência de apresentação e tipo de movimento podem ser variados pelo usuário. O software sofreu algumas modificações, permitindo atualmente (Fig.3. 15):

- variação dos estímulos, onde diferentes desenhos bidimensionais podem ser escolhidos;
- variação do movimento do estímulo em termos de velocidade de deslocamento;
- variação de frequência de apresentação do estímulo;
- variação do tipo de movimento: vertical, horizontal e aleatório;
- armazenamento de informações relevantes sobre o experimento;
- gravação de um número de arquivos determinado pelo manipulador, considerando mesmas configurações;

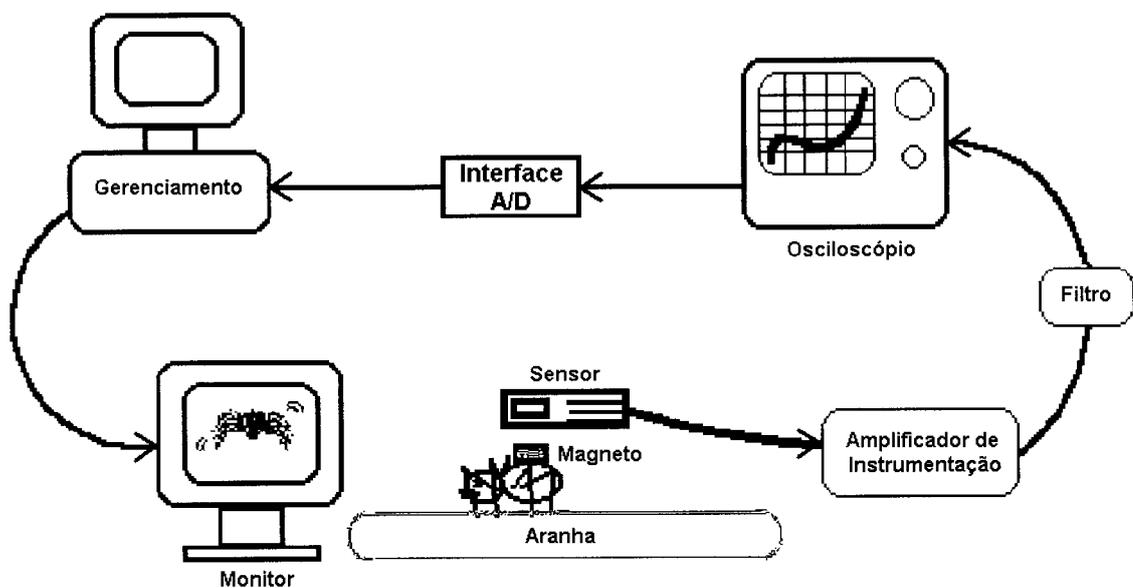


Fig.3. 12 Aparato experimental utilizado na segunda fase da pesquisa.

A utilização de estímulos visuais por meio de apresentação de imagens no computador se justifica uma vez que a frequência de fusão crítica⁶ [Clark, Uetz

⁶ *fff (flicker fusion frequency)*: excitação por flashes de luz rápidos e sucessivos, que dá a ilusão de uma imagem contínua. No homem essa frequência é de 16 a 55 Hz, variando segundo a intensidade luminosa.

1990] de imagens da saltadora é de 40 Hz, inferior à do homem. Assim uma cena em que haja aparente movimento do estímulo para o homem, é também entendida como movimento para a aranha. Por conseguinte, não foi difícil elaborar experimentos, pois tomou-se como base a capacidade de visão humana: se é possível ao manipulador ter a ilusão de que a imagem se movimenta no monitor, a aranha também o terá.

Os primeiros pesquisadores a testarem imagens de vídeo como estímulos visuais para aranhas saltadoras foram Clark and Uetz [Clark, Uetz 1990], que garantem que a aranha saltadora não discrimina entre presa viva e sua imagem de vídeo, ambas apresentadas simultaneamente – então interpreta ambas como imagens reais, não discriminando entre presas vivas ou cópias gráficas no monitor. As aranhas saltadoras caçam e atacam presas no monitor, além de cortejar e apresentar receptividade sexual em direção à imagens computadorizadas e evitar estímulos que mimetizem seus predadores. A utilização de estímulos no computador já foi estudada por um pesquisador do IFSC [Garcia 1997] que durante sua Iniciação Científica, sob orientação do Prof. Luciano da F. Costa, observou o comportamento da aranha a esses estímulos.

Resultados encorajadores foram obtidos utilizando estímulos mostrados na Fig.3. 13 em tamanho original, que levam em consideração a capacidade de perceber formas, tamanho e movimento indicando forte correlação entre o estímulo e o sinal associado, mostradas na seção 2.3.2.

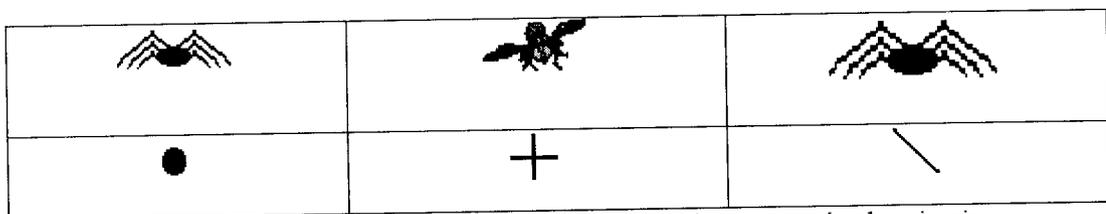


Fig.3. 13 Algumas figuras computadorizadas utilizadas como estímulos visuais.

Utilizando estímulos no monitor, é esperado desencadear maior interesse quando o estímulo estiver em movimento, exceto em um gênero particular (*Portia*) que tem capacidade de discriminar objetos móveis tão bem quanto estacionários. Durante 30s, período de duração de cada arquivo gravado, o estímulo visual varia numa tela de fundo branco em determinados intervalos:

1. *Primeiro período de cinco segundos*: inexistência de estímulo visual; a aranha

- apenas visualiza a tela branca;
2. *Segundo período de cinco segundos*: aparecimento do estímulo visual, porém este permanece imóvel no centro do campo visual;
 3. *Terceiro período de cinco segundos*: movimento do estímulo, segundo especificações do manipulador do experimento, podendo ser: deslocamentos horizontais, verticais ou aleatórios, de tamanho e velocidade variáveis.
 4. *Quarto, Quinto e Sexto períodos de cinco segundos*: estímulo visual permanece imóvel dentro do campo visual;

Para garantir que o movimento eliciava a reação, utilizamos o movimento do estímulo deslocado em relação ao terceiro período, ou seja, no terceiro período o estímulo visual ainda se apresentará imóvel e somente no quarto período ele se moverá, voltando a ficar imóvel no quinto e sexto períodos (vide Apêndice B – parte I).

Os resultados obtidos por Forster (veja seção 2.3.2) dão bases para nossa pesquisa em termos dos atributos da imagem, como forma, tamanho e velocidade de deslocamento, dos quais consideramos os desenhos mais desencadeadores do salto da aranha (Tabela 2.1), ou seja, os estímulos visuais, similares, apresentados na Fig.3. 14. Os nomes listados abaixo da figura serão utilizados para designar tais estímulos visuais em gráficos apresentados nessa dissertação.



Fig.3. 14. Figuras adotadas como estímulos visuais, baseadas em Forster [Forster 1982, Forster 1985]: comparação com essa pesquisa (abaixo das figuras, nomes pelos quais se referenciá-las-á)

Forster assume que o salto indique interesse da cobaia, desenvolvendo estatísticas a respeito da atratividade dos estímulos. Buscamos fazer uma comparação através de uma nova abordagem, utilizando auxílio de computador.

3.5. O software gerenciador dos experimentos

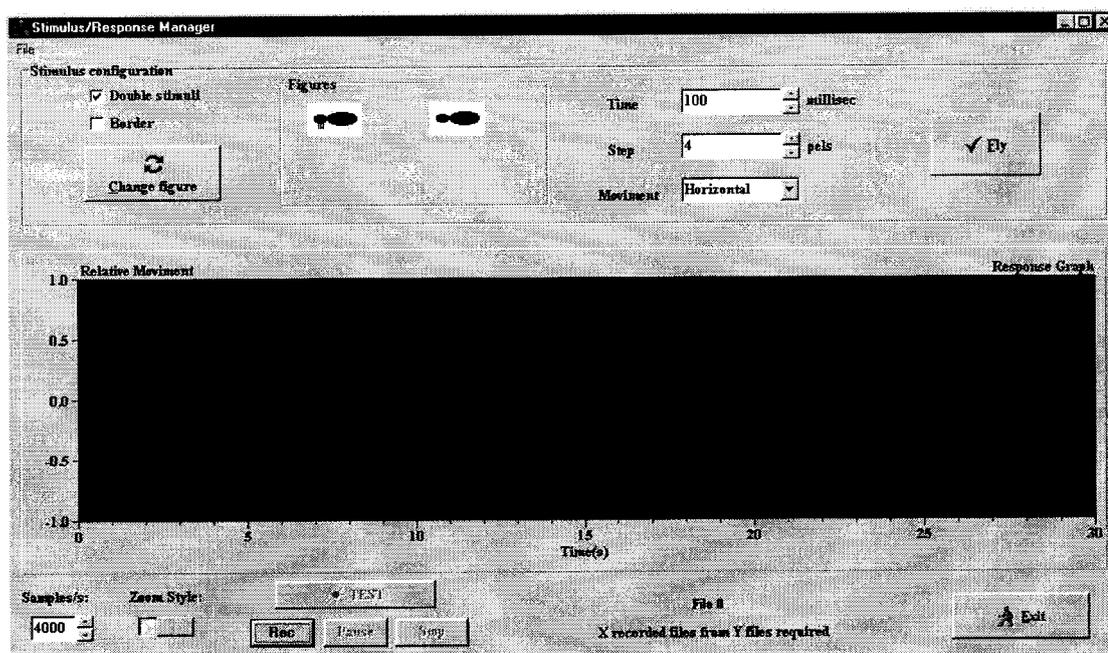


Fig.3. 15. Principal interface gráfica para monitoramento e gravação dos experimentos (última versão do software gerenciador de experimento).

3.5.1. Principais características do software

O programa gerenciador de experimentos realiza automaticamente a aquisição de micromovimentos (incluindo os batimentos cardíacos) da aranha saltadora via placa de som, captando os níveis de tensão do amplificador, provenientes dos deslocamentos do magneto a milímetros do sensor. Esses sinais são captados simultaneamente à estimulação do sistema visual da cobaia por imagens de vídeo para que seja possível a verificação de correlação entre as estimulações visuais e os sinais biológicos capturados. Como nosso objetivo é verificar a discriminação de padrões pela aranha saltadora, utilizamos um banco de imagens com diferentes figuras, principalmente aquelas estudadas por Forster [Forster 1985] .

Os micromovimentos são armazenados a cada intervalo de 30s de duração, em arquivos do tipo .texto, durante o qual será apresentado um determinado estímulo visual efetuando ações descritas na Fig.3. 16

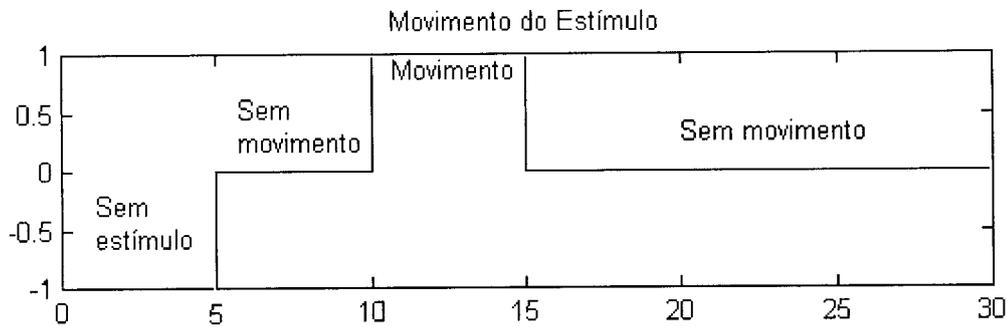


Fig.3. 16. Movimento do estímulo durante os 30s de gravação de cada arquivo de micromovimentos.

Uma característica crítica que deve ser garantida nesse software é que a aquisição dos batimentos esteja estritamente sincronizada com a estimulação por vídeo, de forma a viabilizar a investigação de correlações entre variações de estímulos e batimentos.

Espera-se identificar se há resposta, principalmente, ao movimento de determinados estímulos, sabido que este desencadeia interesse .

Modificações do software devem ser cautelosas: qualquer inserção de funções, ou seja, o aumento de um certo número de linhas de código pode comprometer a sincronização na aquisição. Aliás, para utilizar o software é aconselhável que se feche todos os aplicativos que estiverem rodando para aumentar a confiabilidade da sincronização.

Na Janela Principal (Fig.3. 15), iniciam-se as configurações para experimento escolhendo-se os estímulos, o percurso que ele efetuará, com velocidade e deslocamento determinados.

Para se certificar da sincronia, utilizou-se uma pequena lâmpada controlada pela saída paralela do computador, que gera uma modulação instantânea, como um pulso, no sinal através da influência do campo eletromagnético da luz sob o sensor de Efeito Hall. Em momentos bem conhecidos, no caso, em 5, 15, 25s do sinal, acendemos a lâmpada, gerando picos no sinal de fundo (apenas ruído). Observou-se, no sinal armazenado, se os pulsos coincidiam com os momentos determinados pelas medidas da interface gráfica. Verificou-se a sincronia entre estimulação (nesse teste, dada por pulsos luminosos) e picos provocados no sinal por essa, determinando os intervalos em que ocorrem os estímulos visuais no tempo com precisão. A garantia de sincronização foi feita através da gravação de vários arquivos, que, comparados, asseguraram que os picos gerados pela ação da luz

coincidiam para diferentes arquivos.

O número de arquivos gravados por experimento é determinado pelo usuário (Fig.3. 17, janela superior), que deve também fornecer dados sobre a cobaia, como a identificação, o tempo em que está fixada na placa, etc. (Fig.3. 17, janela inferior).

O plano inicial foi utilizar dois monitores e o sistema operacional Windows 98, o qual permite controle de dois monitores. Como esse sistema operacional apresentava muitos problemas operacionais na época em que se elaborava o programa, adotamos o Windows 95 e um único monitor é utilizado tanto para controlar o experimento como para apresentar os estímulos visuais.

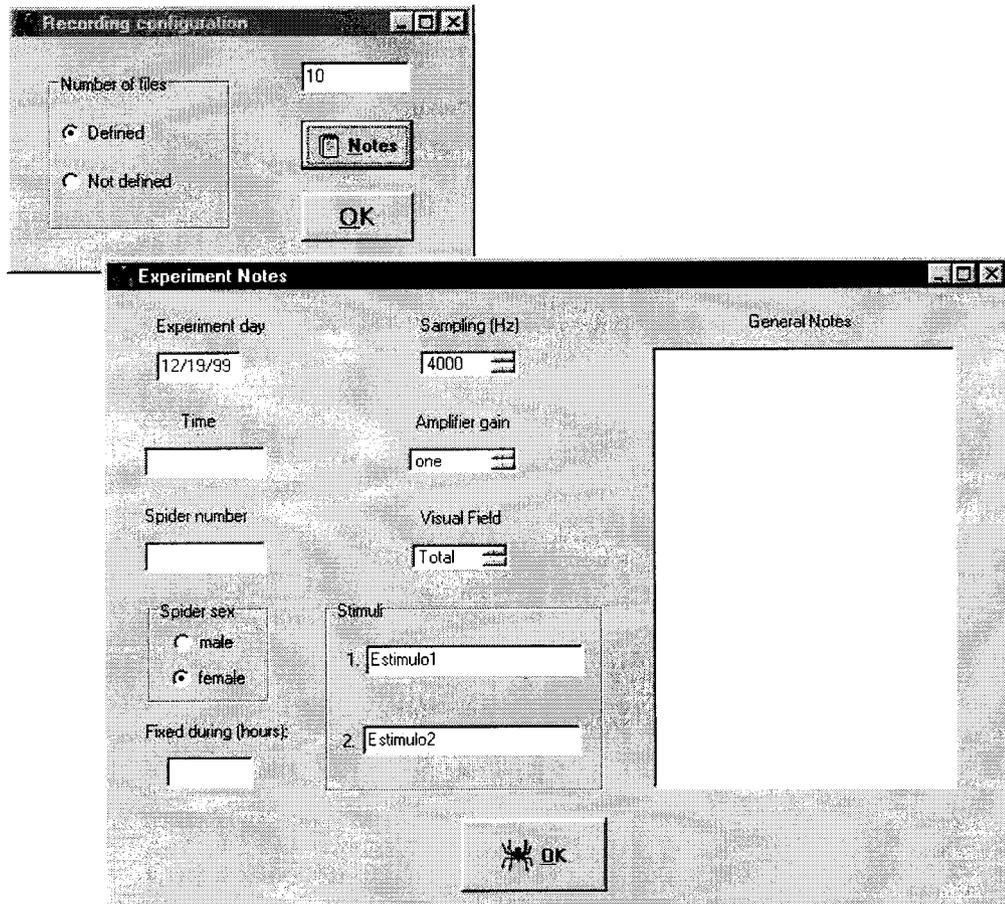


Fig.3. 17 Janela de configuração de gravação (acima) e Janela de notas experimentais (abaixo): opção de repetição do estímulo e armazenamento de dados experimentais básicos.

Após certificar-se dos requisitos detalhados no Apêndice A, inicia-se o experimento apertando o botão *Rec*, configurando parâmetros do estímulo, número

de arquivos, a janela principal desaparece, dando lugar a um fundo branco, que ocupa toda a região do monitor. Neste aparecerá o estímulo numa velocidade e direção determinados: movimentos horizontais com velocidade de 14 mm/s, velocidade ideal para verificar discriminação de padrões [Forster 1985]. Caso haja necessidade de visualizar a janela principal (ex: para interromper o experimento), bastam 2 cliques na “janela branca“ de apresentação do estímulo, que o controle aparecerá. Para o fazer sumir, basta dar um clique na “janela branca“ (que estará em segundo plano), que ela se tornará a janela ativa.

3.5.2. Como o software funciona

Inicia-se com a janela principal (Fig.3. 15), determinando-se:

1. Estímulos utilizados:

- Um ou dois estímulos serão utilizados no experimento. Quando usando dois estímulos, eles serão apresentados alternadamente (checkbox *Double stimuli*): assim, os sinais relacionados ao primeiro estímulo serão gravados como arquivos com terminação ímpar e o segundo estímulo com terminação par (arquivos tem uma terminação numerada para determinar o tempo em que ocorreram no experimento). Se configurações a respeito do estímulo não forem fornecidas, o *default* é o estímulo: mosca (Fig.3. 13);
- Escolhe-se a(s) imagem(ns) para estimular, usando o botão *Change figure*;

2. Comportamento do estímulo:

- Tempo (checkbox *Time*) entre apresentações do estímulo, determinando a frequência de apresentação da figura;
- Deslocamento (checkbox *Step*) efetuado pela figura, em pixels;
- Movimentação (checkbox *Movement*) da figura: horizontal, vertical e aleatória;

3. Botão *Fly*: visualizar como ficou a configuração do comportamento do estímulo;

4. *Response Graph*: janela gráfica preta para visualização dos sinais que estão sendo

gravados;

5. Botão *Test*: para testar o sinal medido e verificar se dentro dos limites impostos pela aquisição em 16-bits (sinal deve poder ser visualizado na janela *Response Graph*, não excedendo 75% para que haja certa tolerância a variações durante o experimento;
6. Caixa de edição *Sample/s*: determina a frequência de captura dos sinais;
7. Botão *Rec*: leva à Janela de Configuração de Gravação (*Recording configuration*), possibilitando a gravação de *n* arquivos de batimento (Fig.3. 17); Se for desejado armazenar algumas notas relativas às circunstâncias experimentais, clica-se no botão *Notes*, preenche-se os campos e um arquivo tipo texto será criado com esses dados. É a partir da janela Configuração de Gravação que é disparada a rotina de gravação dos sinais;
8. Botões para ampliação do gráfico (*Zoom style*): importante na observação de intervalos específicos do sinal, aumentando ou diminuindo a resolução;
9. Rótulos, mostrados na parte inferior, à esquerda do botão *Exit*, superior e inferior indicam: o nome do arquivo que está sendo gravado no momento (ou último que foi gravado) e número de arquivos gravados dentro dos *n* requisitados pelo usuário na janela de configuração de gravação, respectivamente;
10. Botão *Exit*: saída do programa. Fecha todas as janelas e processos que estejam em execução.

Mostra-se na Fig.3.15 um esquema básico de procedimentos para efetuar um experimento e verificar as rotinas centrais do programa simplificada.

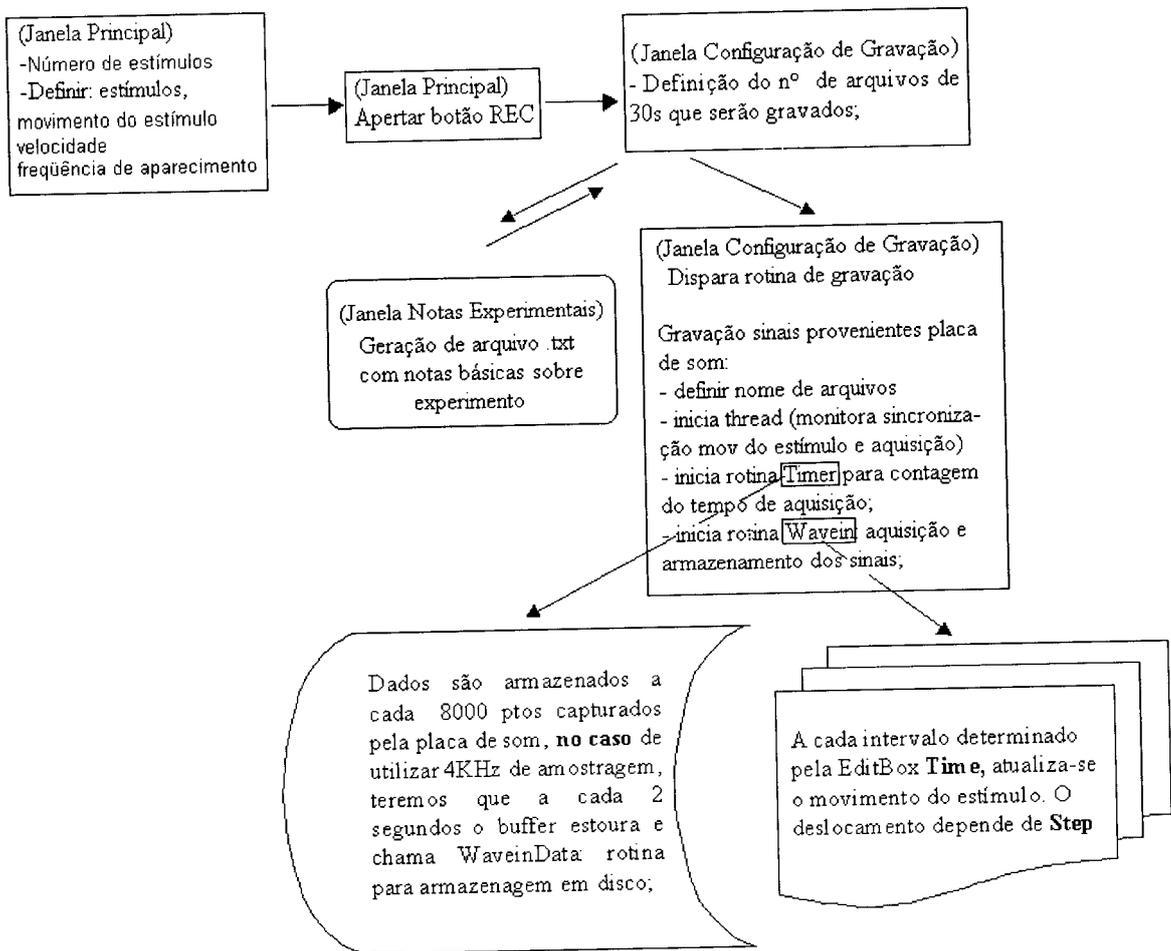


Fig.3. 18 Esquema básico de funcionamento do programa gerenciador de experimentos.

4. Resultados preliminares: monitoramento das respostas da aranha a estímulos gerados por computador

Sabe-se que as aranhas saltadoras possuem uma ótima acuidade visual e que são capazes de perceber e discriminar imagens de vídeo [Clark, Uetz 1990]. Utilizando esse resultado, assim como os resultados da pesquisa de Forster [Forster 1985], elaboramos um método próprio para estimular a aranha visualmente. Apresenta-se diferentes estímulos visuais, enquanto sinais biológicos são medidos para posteriores estudos da correlação deste com os estímulos aplicados, além de investigação de reconhecimento de padrões detectado por meio de perturbações no batimento cardíaco.

Estipulou-se como área de movimentação do estímulo aquela apresentada na Fig.4. 1, considerando-se o par de olhos com capacidade de discriminação para estímulos visuais: o par AM, com campo visual de 60° , graças aos movimentos da retina (2°). Garantindo o deslocamento dos estímulos visuais dentro dessas medidas, tem-se que os olhos são estimulados durante todo o experimento uniformemente.

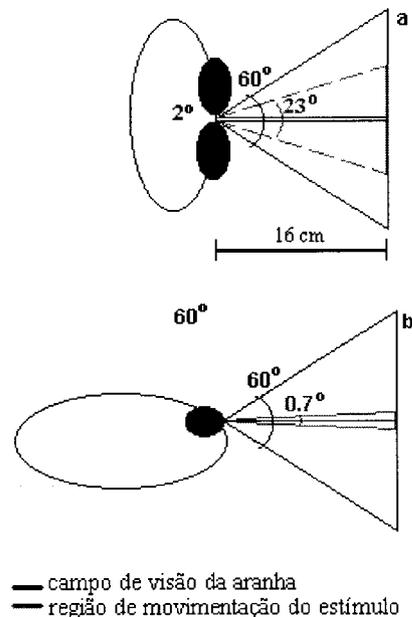


Fig.4. 1. Análise do campo de visão dos olhos principais para determinação da área de deslocamento do estímulo.

Embora o movimento dos olhos AM permita um campo visual de até 60°, o movimento do estímulo acontece sempre dentro de 23°, garantindo que qualquer que seja a aranha, o estímulo possa ser o mesmo e que o campo visual seja estimulado independente da direção em que esteja sendo voltado o par de olhos principais. Aliás essa região corresponde àquela onde ocorre binocularidade dos olhos secundários, precisamente os anteriores laterais (25°).

Especificado o deslocamento do estímulo visual, eles serão apresentados enquanto os sinais vitais da aranha são capturados: macromovimentos, micromovimentos e batimentos, um tipo particular de micromovimentos. Como Forster [Forster 1985] estudou estímulos visuais em movimentos horizontais, também utilizaremos tal sentido de movimento em nossos estudos.

4.1. Sinais biológicos: macromovimentos, micromovimentos e batimentos

A gravação dos batimentos consiste em uma das tarefas mais árduas da pesquisa, dependendo das condições climáticas (dias frios são desaconselháveis), do estado de estresse suscitado na cobaia, do modo em que estiver presa (quanto maior a liberdade de movimentos, mais difícil será o processamento sobre os sinais), etc., até que se consiga gravações confiáveis. Algumas vezes as aranhas fingem-se de mortas (tanatose), ou seja, perdem seus dados vitais em função de perturbações causadas durante a manipulação para o experimento.

Os sinais são gravados no computador em arquivos, cada um contendo 30 segundos, com estímulo apresentado conforme descrito na seção 3.3. Como resultado inicial, observamos que dado qualquer (somente para as primeiras apresentações do experimento) estímulo visual, havia movimentação da aranha. Isso significa que não somente o batimento cardíaco, mas também o corpo e/ou membros influenciavam o sinal particularmente durante o deslocamento do estímulo.

A partir de então, passamos a discriminar os diferentes tipos de sinais presentes nas medidas detectadas:

- **MICROMOVIMENTOS:** são os deslocamentos da ordem de micros do ímã, codificados em níveis de tensão dentro de uma faixa de [0 , 65535]. Geralmente

esse sinais traduzem a frequência de batimento cardíaca, porém representarão também interferências provocadas por movimentos de pernas e membros, os quais são desencadeados durante o deslocamento de determinados estímulos visuais. Assim, pouco se pode concluir sobre frequência e amplitude cardíaca quando o sinal engloba várias informações comportamentais da aranha.

- **BATIMENTOS:** representados por micromovimentos específicos, ou seja, aqueles em que somente a atividade do gânglio cardíaco é monitorada, na faixa de 2.5 a 6 Hz..

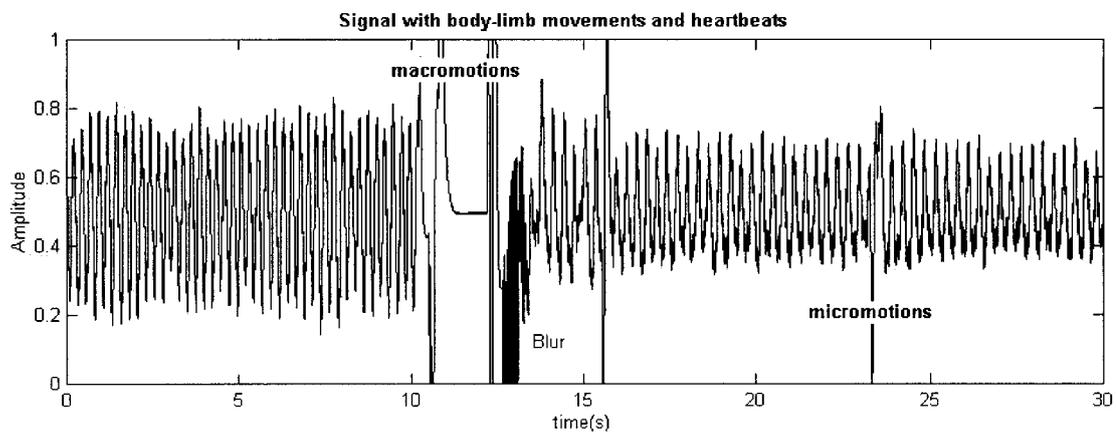


Fig.4. 2. Macromovimentos, que provocam saturação do amplificador em virtude de movimentos bruscos do corpo; micromovimentos são os sinais gerados por pequenos deslocamentos do ímã, incluindo os batimentos, além de pequenos movimentos corpóreos (como é salientado na marcação *micromotions*).

- **MACROMOVIMENTOS:** arquivos que contenham macromovimentos são particularmente interessantes quando se pretende verificar a atratividade dos estímulos visuais diante da aranha. Se ocorrem os macromovimentos no sinal, associados a determinados estímulos, há resposta, na forma de movimentos do indivíduo, provavelmente preparando a postura de caça, sendo esse um indicativo de que ela esteja detectando-os. Como a ocorrência desses macromovimentos está ligada a determinadas formas (estímulos visuais), dizemos que ocorre reconhecimento e discriminação. Os macromovimentos (Fig.4. 2) são facilmente detectados, uma vez que causam uma saturação do amplificador e o sinal fica

geralmente “borrado”, pois extrapola os limites impostos pela aquisição (16-bits para codificação dos níveis de tensão), sendo que na maioria das vezes o macromovimento provoca contato entre o sensor e o magneto. Um macromovimento pode gerar intervalos onde não se adquire o sinal da aranha, mas somente interferências espúrias devido ao contato sensor-magneto, com ruídos durante o restabelecimento do aparato para aquisição.

Note que a amplitude do sinal não permite verificação de alterações no comportamento cardíaco quando também movimentos do abdômen e/ou apêndices da aranha podem alterar os níveis de tensão.

Mostra-se na Fig.4. 3, o espectro de frequência do ruído do sinal e, na Fig.4. 4, o espectro de um sinal típico, com ruído e batimento. Perceba o pico de frequência de batimento frente ao ruído, em decibéis.

Para captura de sinais confiáveis e com boa amplitude (acima de 30mV), o sensor deve ser posicionado a uma distância mínima (geralmente 1mm) da aranha, previamente anestesiada com éter e fixada pelas pernas numa placa acrílica, para gravação do sinal. Lembre-se que o sensor não deve tocar o magneto colado no abdômen.

É importante garantir que o campo visual receba o estímulo e que a aranha esteja firmemente fixada na base com fita adesiva, além do sensor estar posicionado a 1mm, aproximadamente da aranha, como mostrado no esquema à esquerda da Fig.4. 5. Quando o objetivo é unicamente a aquisição de batimentos cardíacos, além da fita prendendo as pernas, a cobaia deve ser imobilizada com plástico de embalar alimentos (Fig.4. 5), atenuando a maioria dos micromovimentos provenientes do corpo e dos membros e salientando os micromovimentos do gânglio cardíaco. O sinal capturado pelo sensor (micromovimentos) passa pelo sistema eletrônico e chega ao computador. Desta forma, qualquer micromovimento (interno ou externo) induz um pequeno deslocamento do magneto, produzindo uma variação no campo magnético que é detectada pelo sensor. Nesses micromovimentos há um comportamento oscilatório implícito bastante regular (batimento cardíaco), variando entre 2.5 a 6 Hz, o que se verificou para diversos experimentos com diferentes gêneros de aranhas.

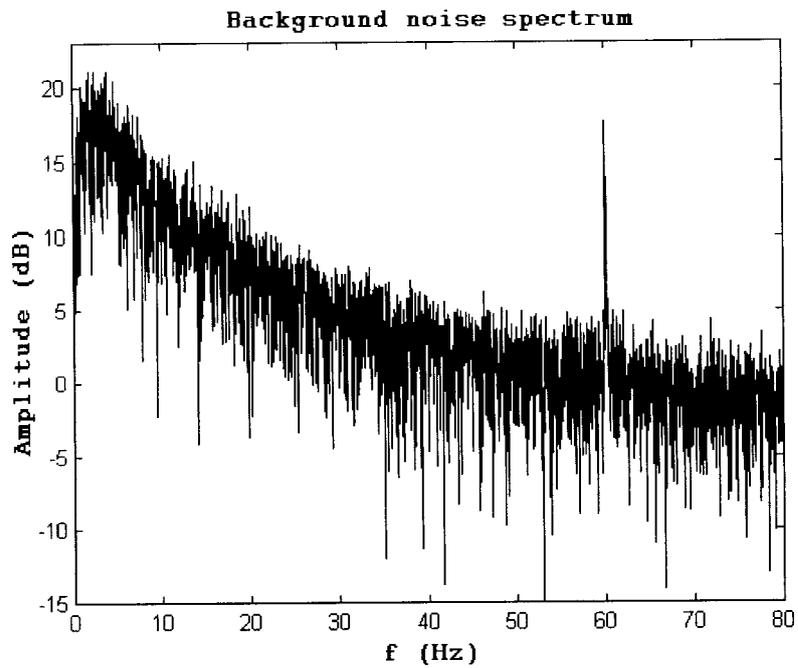


Fig.4. 3. Espectro do ruído de fundo inerente aos sinais captados pelo aparato

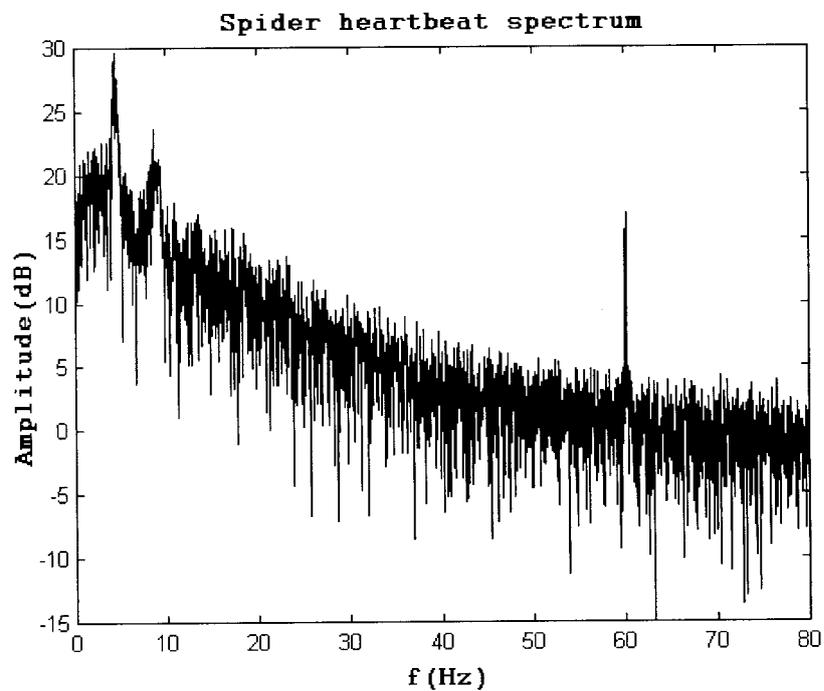


Fig.4. 4. Resposta típica do batimento e ruído do sinal (amplitude em dB calculada em termos da média do ruído)

Os sinais obtidos na primeira fase, apesar de ainda serem mantidos em

disco para possíveis análises, foram quase totalmente descartados. Nos experimentos da segunda fase, estimulamos as cobaias utilizando nossas figuras e também de Forster, para um estudo comparativo. Inicialmente, determinou-se a faixa de frequência de batimento normal, ou seja, sem estimulação visual.

Diversos arquivos com informação cardíaca foram obtidos de várias aranhas, machos e fêmeas, de vários tamanhos e idades, a diferentes condições climáticas, procurou-se informações que pudessem caracterizar tais sinais, descobrir similaridades entre eles, buscar simulações computacionais para tais comportamentos e modelos que pudessem explicar as reações aos estímulos produzidos no computador.

A resposta à apresentação dos estímulos é independente apenas em aranhas que não tenham sido testadas dentro de aproximadamente **30 horas**, segundo dados experimentais obtidos durante a corrente pesquisa, em consequência de mecanismos de adaptação.

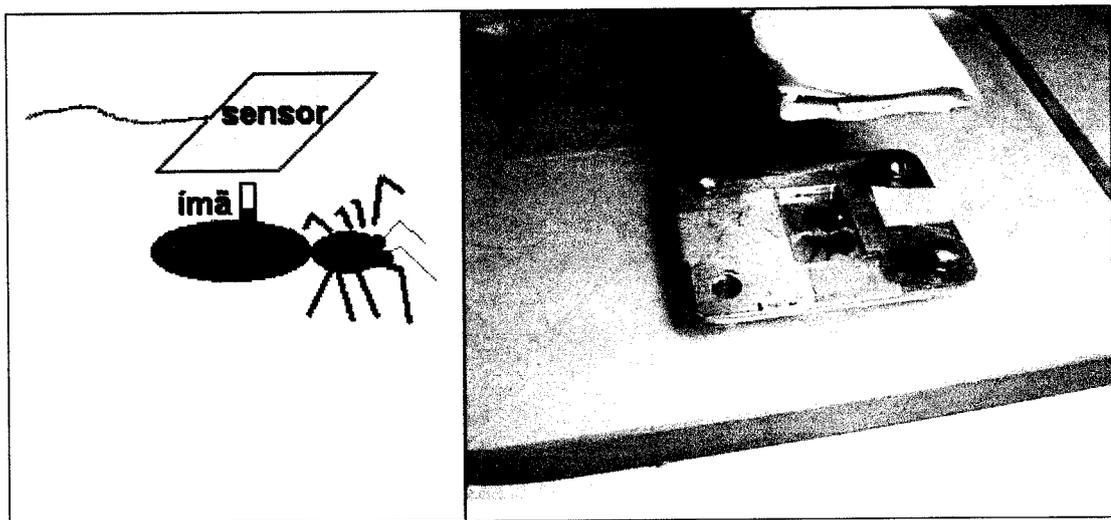


Fig.4. 5. Imobilização para submissão a experimento, à esquerda: posicionamento do sensor a milímetros do magneto, colado na aranha e à direita: isolamento do abdômen para atenuar movimentos do cefalotórax e/ou apêndices .

Para verificarmos se há discriminação entre as formas apresentadas, programou-se o software para que apresentasse 2 estímulos visuais intercalados no tempo, executando mesmos movimentos, mesma velocidade e mesma frequência de apresentação das imagens. Comprovou-se que a discriminação de forma é

desencadeada pelo movimento do estímulo, o que é exemplificado na Fig.4. 6.

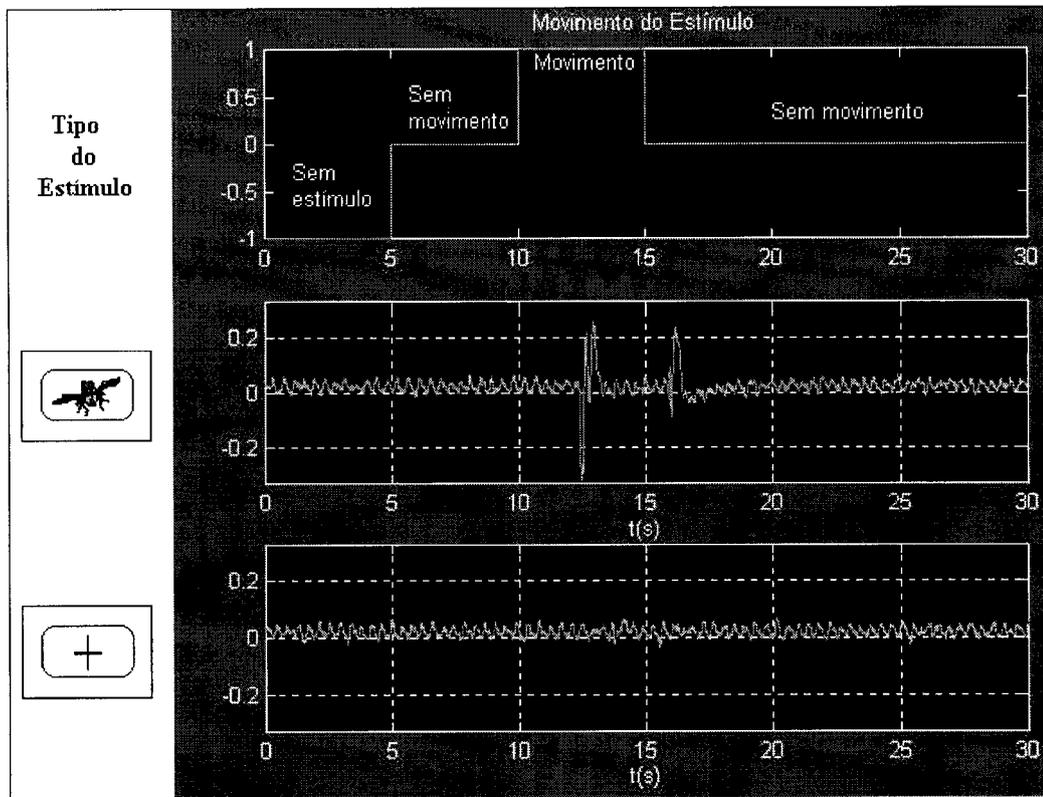


Fig.4. 6. Reação ao estímulo visual devido à diferenciação de forma.

Nosso próximo passo foi estudar a frequência de ocorrência de tais discriminações, analogamente à verificação das tentativas de captura da aranha [Forster 1985] e observou-se forte correlação entre o padrão apresentado e a resposta em termos de deslocamentos do magneto (sinais que são gravados). A Tabela 4.1. permite verificar a porcentagem das apresentações onde houve resposta, associando a cada figura, média das porcentagens de resposta ($\mu R\%$) para cada experimento e o desvio padrão (σR). É feita a média considerando a porcentagem de cada experimento pois é relevante a frequência de resposta para cada um deles, uma vez que não utilizam sempre o mesmo número de apresentações.

Tabela 4.1 Reação ao estímulo: N_{arq} = número de arquivos observados, N_{exp} = número dos diferentes experimentos dos quais provém os arquivos, $\mu R\%$ = média das porcentagens de ocorrência de resposta e σR = desvio padrão.

Formas	N_{arq}	N_{exp}	$\mu R\%$	σR
	87	5	79.47	23.48
	32	3	81.48	12.36
	87	5	28.33	16.97
	32	3	19.63	2.79

5. Análise e processamento de sinais biológicos

5.1. Sinais e Sistemas

O conceito de sinais e sistemas são inerentes a praticamente todas as áreas de tecnologia. De fato, pode-se argumentar que muito do desenvolvimento de alta tecnologia é resultado de avanços na teoria e técnica de sinais e sistemas.

Um sinal $x(t)$ com valores escalares em função da variável tempo t (série temporal) é uma coleção de observações numéricas ordenadas pelo tempo. No caso de batimentos cardíacos, o sinal é uma coleção de valores para níveis de intensidade que variam ao longo do tempo de forma oscilatória (Fig.5. 1). Podemos ter mais de um fenômeno observado a cada instante e então teremos uma *série temporal múltipla* ou a cada observação teremos mais de uma variável de influência (um ponto num espaço associado a ordem mais alta que um) e falaremos de uma *série espacial*. Na presente dissertação trataremos de séries temporais unidimensionais, de mais fácil manipulação pelo menor número de variáveis abordadas, de outro modo com maior necessidade de dados para tentar extrair toda a informação necessária à análise [Bloomfield 1946].

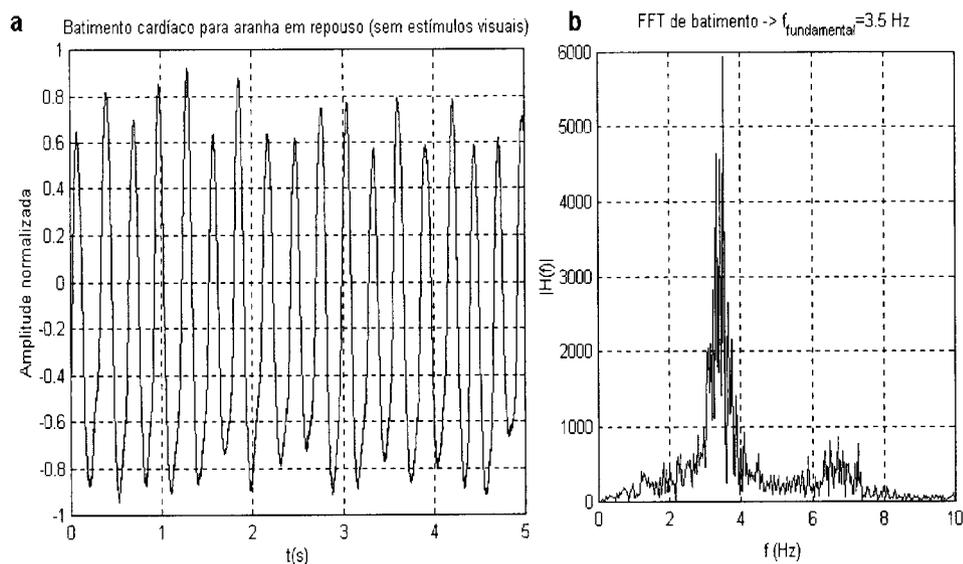


Fig.5. 1. Exemplo de série temporal unidimensional: (a) 5s de batimento cardíaco capturado via “estetoscópio de invertebrado” com amostragem de 4000Hz; (b) transformada de Fourier do arquivo de 30s de micromovimento (note o pico de frequência fundamental de batimento), ao qual pertence o intervalo mostrado em (a)

Sinais de grande complexidade são comumente não especificados por uma função, mas dados por um conjunto de amostras, podendo ainda ser caracterizados em termos do conteúdo de sua frequência (ou espectro de frequência), o que é possibilitado pela Transformada de Fourier [Spiegel 1976]. A informação contida no sinal pode, por exemplo, não ser evidente em seus valores amostrados no tempo, porém revelar características em outros domínios, como o da frequência.

O processamento de sinais visa filtragens e extrações de informação dos sinais, de grande importância no campo médico, particularmente, em sinais biológicos, como o ECG (eletrocardiograma, sinal tomado por meio de eletrodos colocados, superficialmente, no indivíduo) permitindo análise para a determinação da saúde do coração de uma pessoa [Kozma et al. 1997]. Com o ECG é possível detectar uma doença da artéria coronária ou um estado prolongado de hipertensão, refletindo detalhes da dinâmica do coração que pode complementar técnicas convencionais usadas no diagnóstico de distúrbios do ritmo cardíaco [Lee et al. 1995]. O estudo de HRV representa uma nova área da pesquisa cardiovascular com aplicações potenciais em vários cenários clínicos. Uma importante característica de HRV é a irregularidade aparente, verificada por meio de *interbeats* do sinal e o comportamento caótico [Kozma et al. 1997, Mäkikallio et al 1998].

Outro estudo importante dentro de processamento de sinais é a reconstrução de sinais que tenham sido corrompidos por sinais espúrios ou ruído. Uma boa estimativa dos sinais ruidosos deve ser obtida, então é necessário implementar filtros. Estimadores e filtros, além de outros tipos de processadores de sinais, podem ser vistos como sistemas [Kamen, Heck 1997].

Um sistema é uma interconexão de componentes com terminais ou portas de acesso através dos quais matéria, energia ou informação pode ser aplicada ou extraída. Uma forma comum de ver um sistema é em termos de uma caixa preta com terminais de entrada e saída. Um *modelo matemático*, ou seja, uma coleção de equações descrevendo as relações entre os sinais que aparecem no sistema faz-se muitas vezes necessário. Quando o modelo matemático é bastante preciso, o comportamento e as propriedades do sistema podem ser estudados em termos do modelo. Modelos matemáticos são usados tanto para projeto quanto para análise de sistemas [Kamen, Heck 1997].

A aranha saltadora (*Salticidæ*) é o sistema adotado por nós e estudado, por

motivos já discutidos ao longo da dissertação. Pretende-se tentar descrevê-la como um sistema que reage a entradas capturadas pelo sistema visual e verificar suas respostas em termos de modulações de seu sistema cardíaco e movimentos voluntários do corpo associados aos estímulos. Para isso é necessária não só a aquisição de dados e algum conhecimento sobre processamento de sinais, mas todo um entendimento biológico e psicofísico para conclusões sistêmicas e integradas.

A partir do banco de sinais obtido por meio dos experimentos psicofísicos, efetuou-se as seguintes tarefas:

1. Pré-processamento, ou seja, modificações necessárias primeiramente antes que os sinais sejam processados. Primeiro se elimina os sinais que estiverem corrompidos por elevado ruído (altas frequências, principalmente 60 Hz) e comprometam as conclusões. A eliminação de determinados arquivos ocorre estudando-se o espectro do sinal e determinando que a amplitude da frequência principal de batimento deve ser duas vezes maior que a amplitude das frequências espúrias. Assim, o ruído não compromete o sinal, o que não quer dizer que filtros não devam ser aplicados (seção 5.2);
2. Análise dos sinais, onde ocorre a extração de informações destes, elaborando-se:
 - uma comparação com a pesquisa de Forster a respeito da atratividade de determinados estímulos visuais;
 - estatísticas tanto para a caracterização da faixa do batimento fundamental, como para verificação de variações no sinal de batimento, provocadas pela excitabilidade dos estímulos, utilizando histogramas de ciclos de batimento (*interbeats*);
 - análise espectral dos sinais;

Para tal manipulação dos sinais obtidos, ferramentas matemáticas serão utilizadas como transformadas de Fourier, análise estatística de dados biológicos e outras.

Os processamentos de sinais foram realizados neste trabalho utilizando o aplicativo numérico MATLAB, suas rotinas e rotinas próprias especialmente desenvolvidas para o estudo corrente. Assim, os resultados são visualizados em gráficos e analisados. Através destes dados, busca-se levantar informações acerca de como um sistema neural capta, interpreta, associa e reage a estímulos visuais.

5.2. Pré-processamento: filtros e suavizações

Os filtros aplicados são lineares, pois a função de transferência e a função de resposta a impulso unitário, das funções que representam esses filtros, são inversos um do outro pela transformada de Fourier. Os filtros chamados de passa-baixas atenuam ou eliminam as componentes de altas freqüência no domínio de Fourier, suavizando o sinal, enquanto deixa as baixas freqüências intocadas. Altas freqüências caracterizam os detalhes mais finos do sinal, assim o passa-baixa faz com que haja perdas de resolução do sinal. Já os filtros passa-altas atenuam ou eliminam os componetes de baixa freqüência e, privilegiando os detalhes. Os filtros passa-faixa são capazes de remover ou atenuar componentes acima de sua freqüência de corte superior e abaixo de sua freqüência de corte inferior. Esses filtros são representados como funções no domínio de freqüência na parte superior da Fig.5. 2, com máxima amplitude igual a 1, ou pode-se representar como funções no tempo, como na parte inferior da Fig.5. 2.

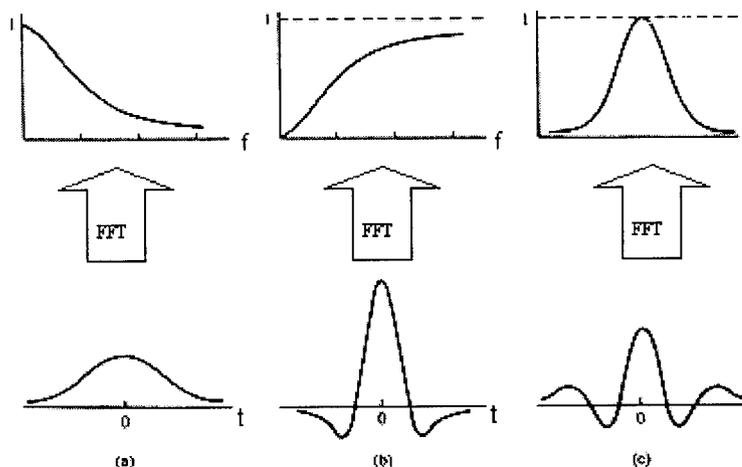


Fig.5. 2 Filtros gaussianos: (a) passa-baixa (suavização do sinal no tempo); (b) passa-alta e (c) passa-faixa

Uma freqüência indesejada nos sinais considerados nesta dissertação é, particularmente os 60 Hz, a qual é inerente ao suprimento de força. Seria possível eliminar tal freqüência, no domínio temporal, com a convolução do sinal com uma gaussiana determinada, porém há alto custo computacional com essa operação. A alternativa adotada foi a multiplicação do sinal no espectro por uma gaussiana $G(f)$,

centrada em 60 Hz ($\mu = 60$ Hz), com desvio padrão de σ Hz, o qual indica as frequências adjacentes que serão também filtradas, semelhante ao filtro passa-faixa da Fig.5. 2.(c) parte superior. A função para filtragem é dada pela equação (1).

$$1 - G(f) = 1 - \left\{ 1 / (\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_f) \cdot \exp[-(f - \mu_f)^2 / (2\sigma_f^2)] \right\} \quad (1)$$

Na Fig.5. 3a, tem-se a transformada de Fourier de parte do sinal, mostrando a amplitude de 60 Hz embutida no sinal. Através da multiplicação com o complemento da gaussiana, dado o desvio padrão ($\sigma=5$ Hz) que determinará as frequências adjacentes atenuadas, teremos o gráfico da Fig.5. 3b, que pode ser visto em maiores detalhes em Fig.5. 3c. Fazendo a transformada de Fourier inversa, obteremos uma nova versão do sinal, agora sem as frequências indesejadas.

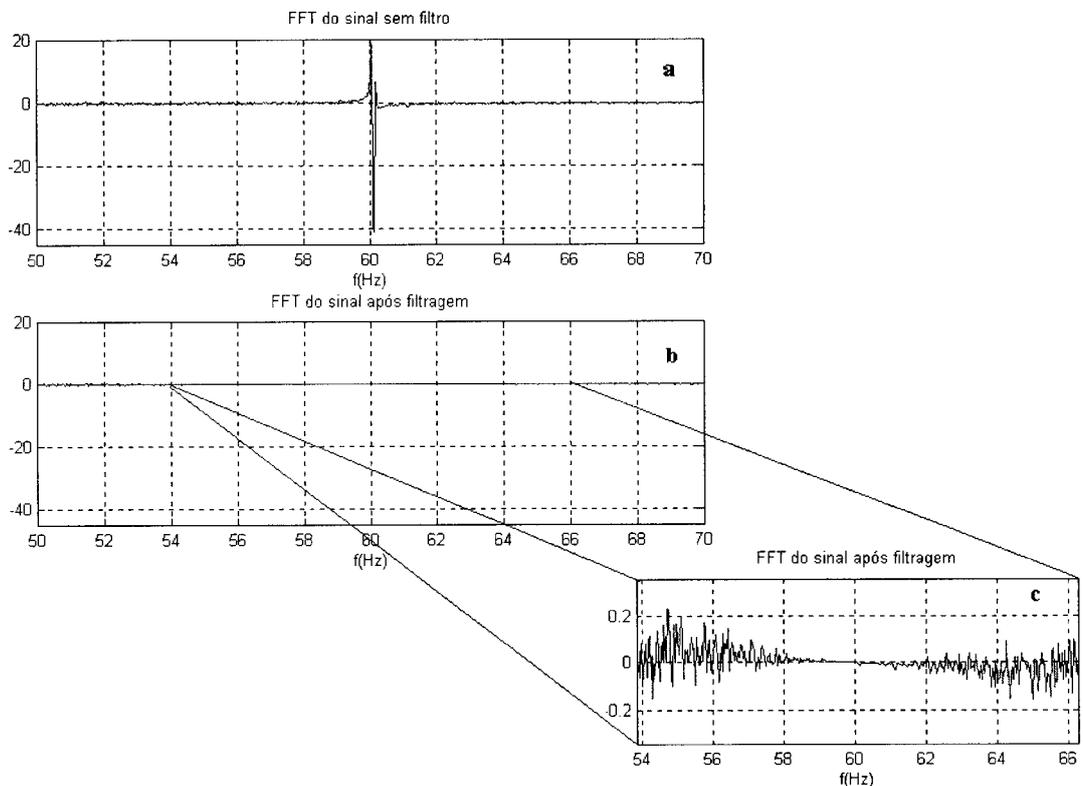


Fig.5. 3 Filtro para atenuação de 60Hz através de função gaussiana.

A utilização do filtro gaussiano de 60Hz foi feita para alguns sinais onde o principal objetivo era observar o sinal no tempo - para montagem de histogramas, que caracterizam a taxa de ocorrência de períodos, fez-se suavização do sinal, isto é, uma filtragem passa-baixa.

Para filtrar um sinal no tempo com atenuação de altas frequências (passa-baixa) é preciso fazer a convolução do sinal com uma gaussiana. A gaussiana $g(t)$, definida no tempo é dada pela equação (2) sendo σ em segundos e irá indicar a partir de que tamanho de período o sinal codificará.

$$g(t) = 1/(\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_t) \cdot \exp[-(t - \mu_t)^2 / (2\sigma_t^2)] \quad (2)$$

O sinal suavizado é representado por $s'(t)$, sendo obtido através da convolução (designada pelo símbolo $*$) de $s(t)$ pela gaussiana:

$$s'(t) = s(t) * g(t) \quad (3)$$

Sabemos que a convolução entre duas funções é equivalente a multiplicação de suas transformadas de Fourier no domínio da frequência [Spiegel 1976], portanto definindo-se $S(f)$, a transformada de Fourier de $s(t)$ e $G(f)$ a transformada de Fourier de $g(t)$, temos que o sinal suavizado $s'(t)$ é a transformada de Fourier inversa da multiplicação de $S(f)$ por $G(f)$, como é representado nas equações abaixo:

$$S(f) = \mathfrak{F}\{s(t)\} \quad (4)$$

$$G(f) = \mathfrak{F}\{g(t)\} = \exp(-(f - \mu_f)^2 / (2\sigma_f^2)) \quad (5)$$

$$s'(t) = \mathfrak{F}^{-1}\{S(f) \cdot G(f)\} \quad (6)$$

Mostra-se na Fig.5. 4 a função gaussiana da equação 5, utilizada como passa baixa e na Fig.5. 5 a transformada de Fourier do sinal original de batimento cardíaco da *Salticidæ* (a) e do sinal suavizado (b). É bastante perceptível a atenuação de frequências maiores que 10Hz ($\sigma=10$ Hz). A limitação das frequências passantes foi imposta em função da faixa de frequência característica (animais, principalmente

as aranhas, possuem batimentos cardíacos caracterizados por baixas frequências [Barnes, Ruppert 1996]). Um outro motivo para essa imposição é que a derivada do sinal fica muito ruidosa para atenuações com σ maior que 10 Hz.

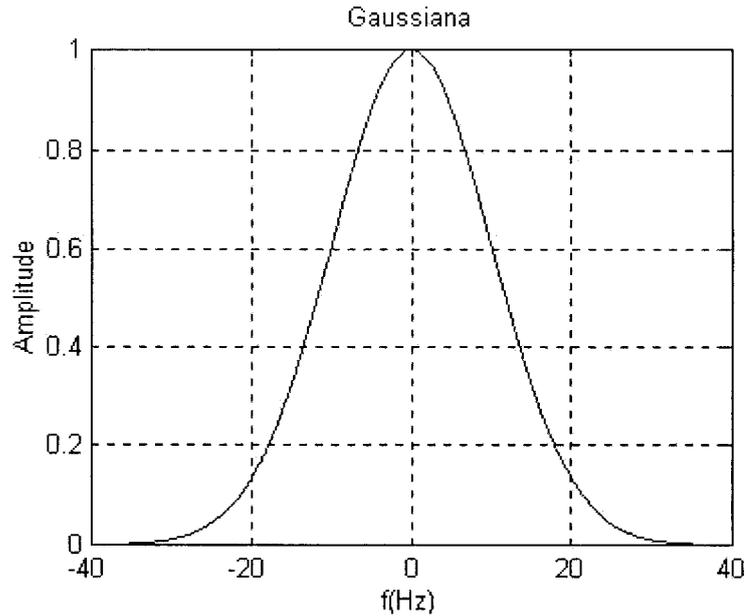


Fig.5. 4 Função gaussiana utilizada como filtro: atenuação de frequências acima de 10 Hz

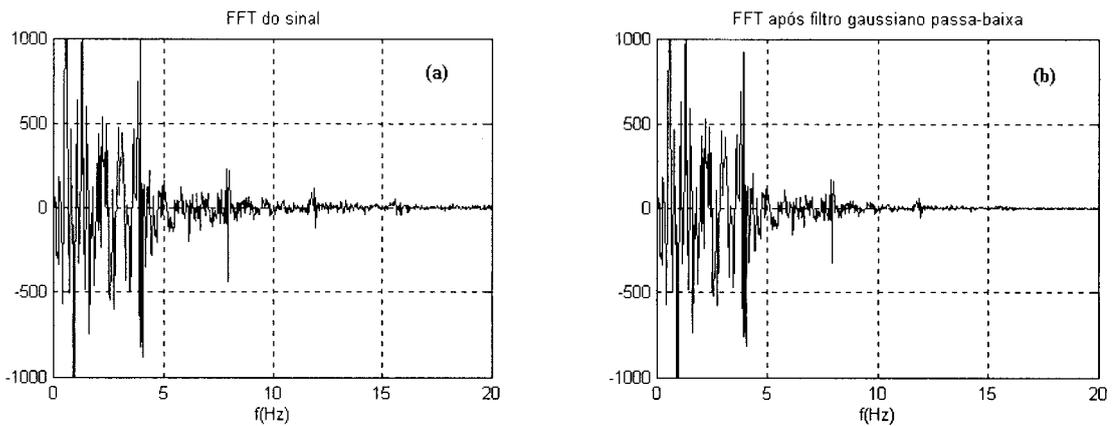


Fig.5. 5 Transformada de Fourier do sinal original de micromovimento (a) e da versão filtrada por passa-baixa (b).

É possível visualizar a diferença entre sinal original e o sinal suavizado através da Fig.5. 6, onde um intervalo no tempo foi selecionado.

A normalização da amplitude do sinal após a suavização seria necessária se considerássemos os níveis de tensão da amplitude do sinal. Não a fazemos por

analisarmos a amplitude de maneira relativa, ou seja, apenas em termos de vizinhança para detectarmos os inevitáveis movimentos corpóreos da aranha, que geram modulações da amplitude.

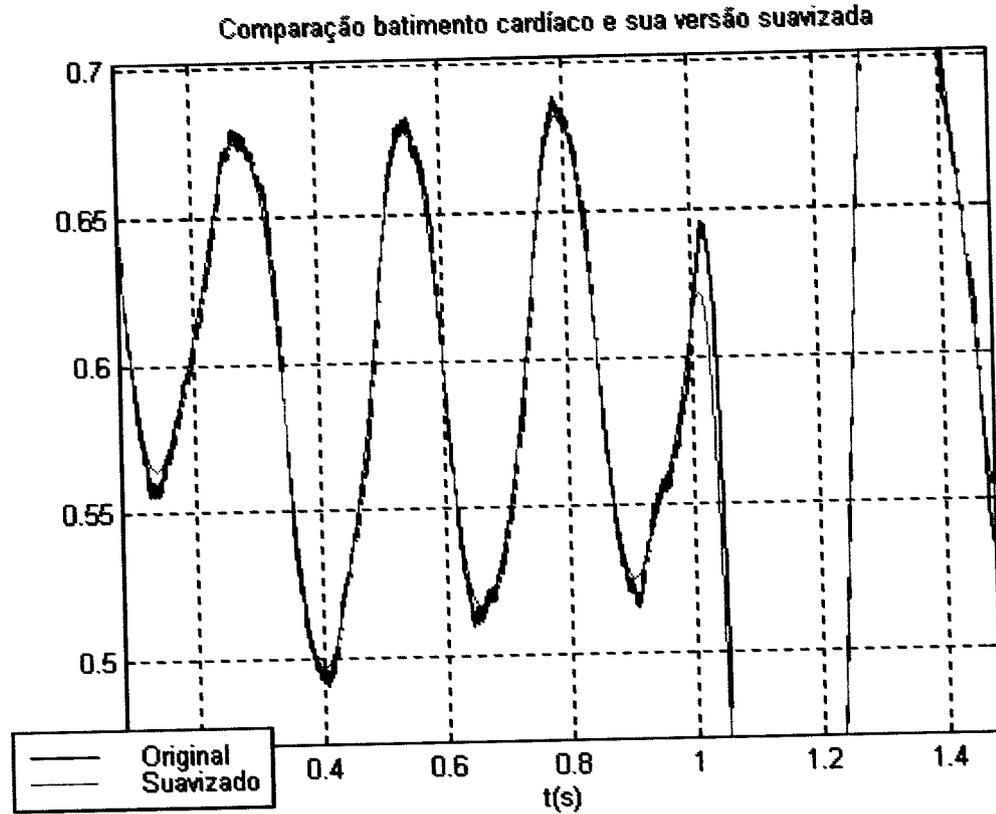


Fig.5. 6 Sinal original e sinal filtrado: suavização de altas frequências.

5.3. Análise dos sinais:

5.3.1. Comparação dos resultados obtidos com a pesquisa de Forster

Como foi descrito na seção 2.3.2, seguiu-se os mesmos moldes do experimento proposto por Forster [Forster 1985], utilizando deslocamentos do estímulo visual (formas da Fig.3. 14) de 14 cm/s, sendo as dimensões vertical de 5 cm e a horizontal de 7cm. Forster chamava de *resposta* ou *reação* [Forster 1985], o salto em direção à forma: se essa fosse atrativa, ocorria postura de caça, seguida de salto, senão a aranha ignorava o desenho apresentado, comportamento diferenciado em virtude da discriminação de padrões. Na corrente dissertação, a nossa *reação* é caracterizada

como uma perturbação repentina do sinal, uma modulação em função do movimento do indivíduo. O sinal, acrescido de deslocamentos do corpo e/ou membros apresenta um aumento da amplitude do sinal provavelmente devido à aproximação do imã (colado no abdômen) ao sensor (lembre-se que os sinais são captados por efeito Hall). A ocorrência dessas reações é indicativo do interesse da aranha e se dá, particularmente, em virtude do movimento do estímulo dentro do campo visual.

Tabela 5. 1. Número de arquivos de 30s processados para cada experimento

Exp/Aranha	estímulos visuais bidimensionais apresentados			
				
1 / cobaia ₁	16	16	30	30
2 / cobaia ₂	35	35	35	35
3 / cobaia ₃	24	24	24	24
4 / cobaia ₃	38	38	37	37
5 / cobaia ₄	30	30	30	30
6 / cobaia ₅	40	40	30	30
Nro. total de apresentações	183	183	186	186

Tabela 5. 2. Porcentagem de resposta da aranha para cada experimento

Exp/Aranha	estímulos visuais bidimensionais apresentados			
				
1 / cobaia ₁	75	81.25	73.3333	63.333
2 / cobaia ₂	68.5714	74.2857	68.5714	60
3 / cobaia ₃	58.3333	58.3333	41.6667	29.1667
4 / cobaia ₃	57.8947	50	37.8378	32.4324
5 / cobaia ₄	43.3333	30	53.3337	36.6666
6 / cobaia ₅	90	80	43.3333	36.6667

Temos uma medida de atenção da aranha similar ao de Forster, utilizamos

imagens semelhantes às dela e confirmamos também a diferente frequência de reação para diferentes padrões. Uma vantagem de nosso método é a repetibilidade e objetividade na medida de reação (independente de usuário) graças ao auxílio do computador. O número de arquivos observados em cada experimento para cada um dos 4 estímulos aparece na Tabela 5. 1. Através da análise individual dos arquivos de batimento em busca de modulações no intervalo onde há movimento do estímulo, montou-se a Tabela 5. 2, onde são dadas as porcentagens de resposta (presença de modulação) para cada um dos estímulos de cada experimento.

Elaboramos a Tabela 5. 3 seguindo o mesmo padrão de Forster (Forster 1985) para comparação de dados, ou seja, calculou-se a média de resposta para cada estímulo, considerando seis diferentes experimentos.

Tabela 5. 3. Resposta das aranhas *Salticidæ* quando apresentando formas em movimento à respectiva.

Forma	N	N _{exps.}	Velocidade(mm/s ⁻¹)	%C
1. 	5	6	14	65.52
2. 	5	6	14	62.31
3. 	5	6	14	53.01
4. 	5	6	14	43.04

N: número de aranhas testadas;

N_{exps.}: número de experimentos;

%C: porcentagem de captura (aranha efetua macromovimentos ou micromovimentos corpóreos).

Os resultados de Forster e os nossos são confrontados na Fig.5. 7 considerando os estímulos indicados na parte inferior.

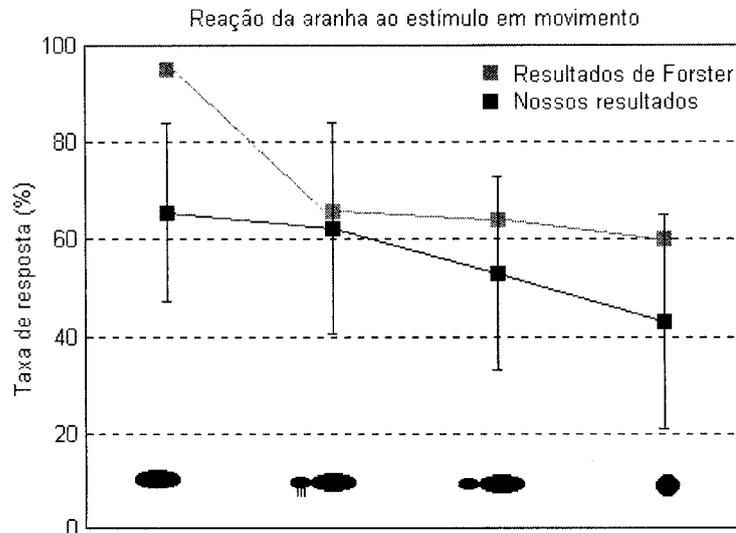


Fig.5. 7 Taxa de resposta verificada por Forster (10 experimentos) e pela pesquisa da dissertação corrente (6 experimentos)

5.3.2. Histograma de períodos de batimento (*interbeats*)

No estudo da HRV, simplesmente se verifica as mudanças nos comprimentos entre batimentos cardíacos consecutivos. Esses diferentes comprimentos são os períodos de batimento ou *interbeats*. Quando a ocorrência desses intervalos é agrupada pelo tamanho (em milissegundos), temos os histogramas de *interbeats* do sinal.

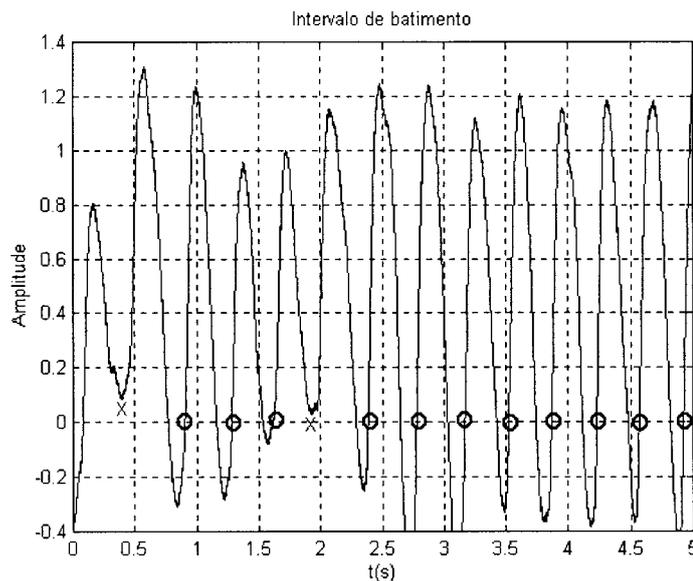


Fig.5. 8 Sinal original sem nível DC: alguns ciclos **não** são encontrados (marcas designadas por X) pelo algoritmo; marcas O indicam os ciclos detectados em bordas de subida

Para extração dos *interbeats* e montagem dos histogramas, consideraremos os seguintes passos:

1. Suavização do sinal através de um filtro passa-baixa, atenuando frequências maiores que 10 Hz;
2. Determinam-se os ciclos de batimento pela derivada do sinal: cada ciclo é determinado por uma borda de subida que cruza o eixo do tempo após, no mínimo, 100 ms decorridos. Não usamos o sinal original, pois mesmo sem o nível DC, não há garantias de que os ciclos cortem o eixo do tempo (Fig.5. 8), levando à falha do método;
3. Determina-se a derivada do sinal, $s'(t)$, utilizando a equação (7), onde $S(f)$ é a transformada de Fourier do sinal. Detecta-se os cruzamentos por zero de $s'(t)$ em bordas de subida, determinado os ciclos em milissegundos;

$$s'(t) = \mathfrak{F}^{-1}\{(2\pi * i * f) * S(f)\} \quad (7)$$

4. Os ciclos são agrupados de acordo com seus diferentes tamanhos. O aparecimento de um pico no histograma indica geralmente um comportamento oscilatório com esse tamanho de período.

Utilizando *interbeats* para processamento homogêneo do intervalo de 30s dos arquivos gravados, previamente filtrados, é possível verificar a faixa de batimento cardíaco (Fig.5. 9).

Iniciou-se a extração de informações dos sinais por meio da montagem de histogramas de *interbeats*, estabelecendo comparações entre grupos de sinais relativos a um dado estímulo para um determinado experimento.

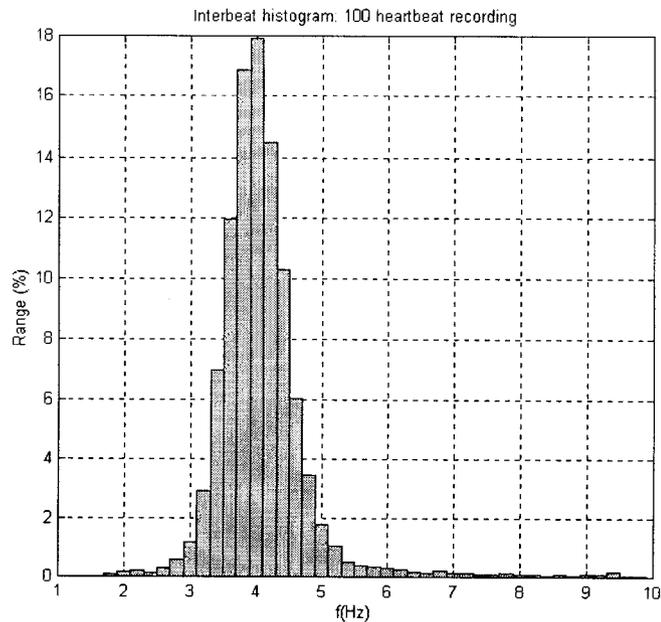


Fig.5. 9. Histograma de *interbeats* para 100 arquivos de micromovimentos.

Os histogramas de *interbeats* são bastante variáveis, mesmo quando considerando mesmas circunstâncias de estimulação visual. Comprovando essa variabilidade, fizemos estudos comparativos, considerando para a elaboração do histograma de *interbeats*:

1. todo o arquivo de micromovimento (30s de gravação) processado simultaneamente: histogramas para cada arquivo e histogramas médios relativos aos diferentes estímulos visuais de cada experimento (seção 5.3.2.1);
2. cada intervalo de 5s do arquivo de micromovimento: histogramas a cada 5s do sinal, considerando os estímulos da Fig.3. 14. Como exemplo, mostram-se processamentos dos primeiros arquivos de um experimento (seção 5.3.2.2);

As comparações realizadas foram para verificação de semelhanças nos histogramas para grupos-de-arquivos, ou seja, quantificar a atratividade do estímulo aplicado em função dos histogramas. As características dos histogramas individuais e médios analisadas foram:

- variação de frequência: aumento (ou diminuição) da frequência fundamental (pico) de batimento dada a atratividade do estímulo ;
- variação das componentes freqüenciais de batimento: espalhamento ou localização da componente de frequência de batimento;
- a adaptação ao estímulo visual apresentado, observando diferenças entre os

histogramas para arquivos iniciais e histogramas após 15 segundos de experimento (Fig.5. 10 e Fig.5. 11);

5.3.2.1. Histogramas para um arquivo completo (30s)

Chamemos de grupo-de-arquivo cada conjunto de arquivos de batimento de um experimento, gravados sob um mesmo estímulo, que pode ser lyn1, lyn2, lyn3 e lyn4, conforme explicitado na Fig.3. 14. Nos processamentos iniciais de sinal, elaborou-se histogramas para cada arquivo (30s), obtendo um histograma médio para cada grupo-de-arquivo. Lembre-se que durante a gravação dos 30 que compõem um arquivo, temos variação do movimento do estímulo visual.

Para o experimento 1, os histogramas de *interbeats* são mostrados na Fig.5. 10 e Fig.5. 11, cada figura contendo quatro histogramas, correspondentes aos 4 estímulos utilizados, para cada arquivo.

Os arquivos processados individualmente são referentes:

1. aos 5 minutos iniciais de experimento 1 (Fig.5. 10) e
2. após 15 minutos (Fig.5. 11); esses processamentos são realizados para os experimentos 2 e 3, com figuras apresentadas no Apêndice C – parte I.

Os histogramas médios de cada grupo-de-arquivo relativo ao experimento 1 são mostrados na Fig.5. 12.

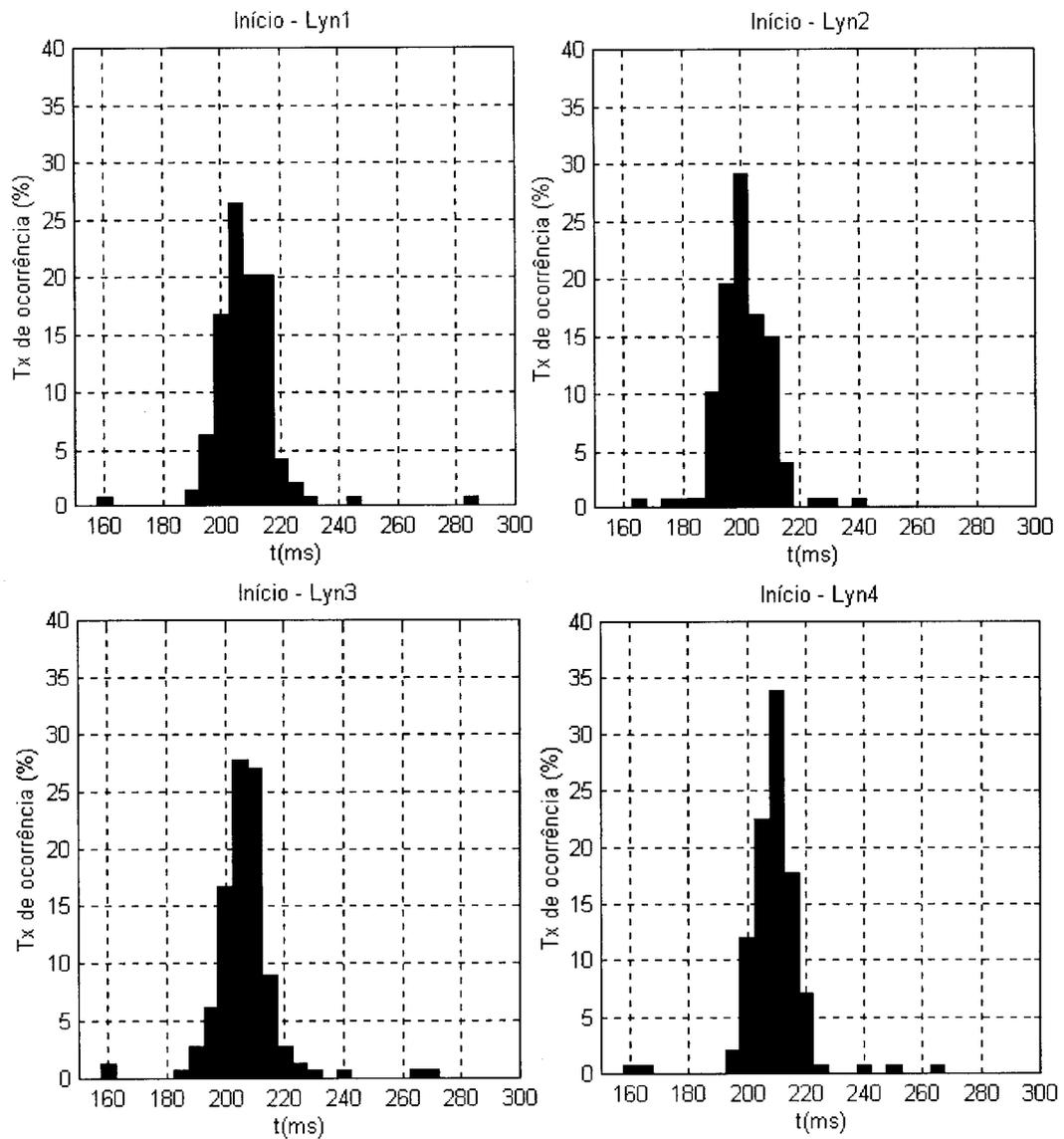


Fig.5. 10.Histograma de *interbeats* para arquivos gravados nos primeiros minutos do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14

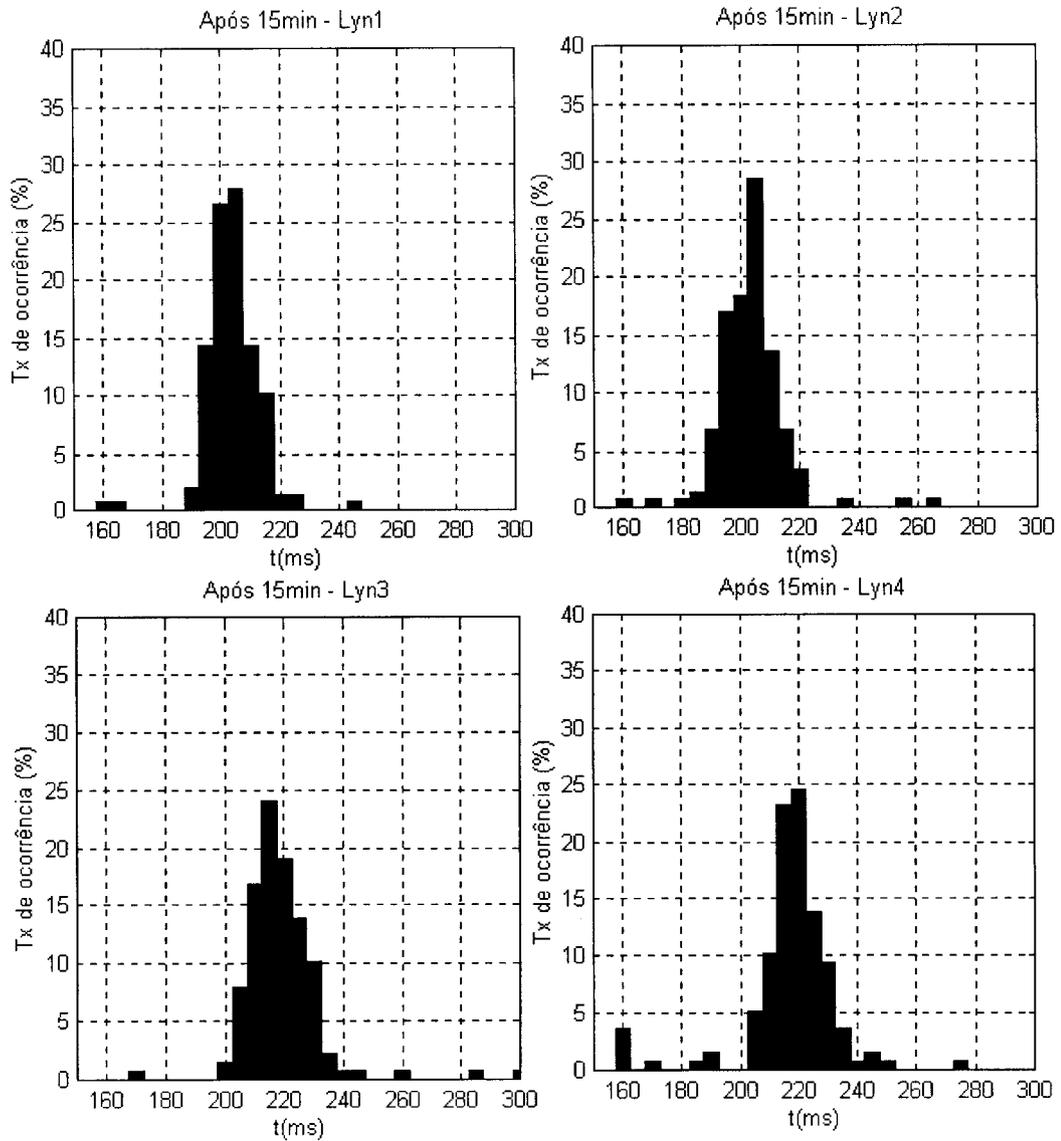


Fig.5. 11. Histograma de *interbeats* para arquivos gravados após 15 minutos do experimento 1, considerando os estímulos da **Fig.3. 14**

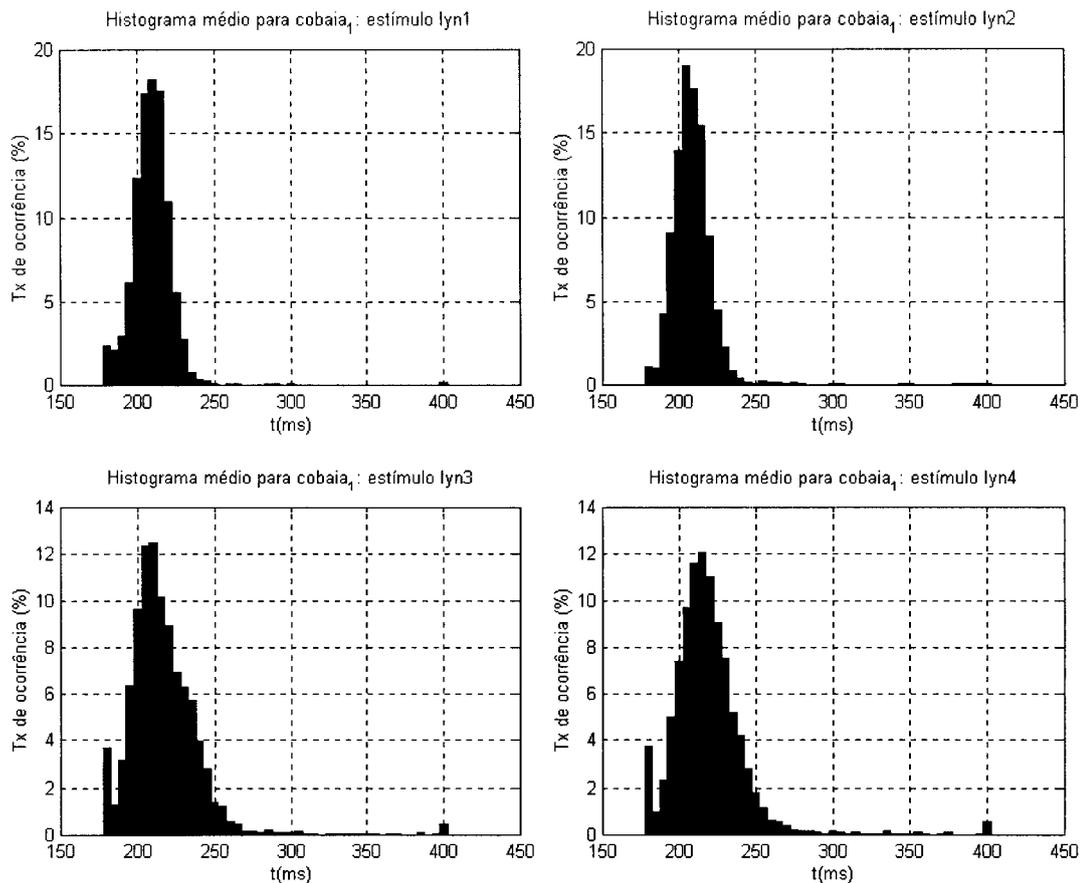


Fig.5. 12. Histograma médio dos *interbeats* do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14

Se fossem verificadas características particulares de variação dos *interbeats* para os diferentes estímulos, então se comprovaria a discriminação dos estímulos visuais em termos de batimentos cardíacos. Porém, verificou-se uma variação descorrelacionada entre as características consideradas e os histogramas, mesmo para batimentos gravados sob apresentação dos mesmos estímulos visuais (veja histogramas médios para os outros experimentos no Apêndice C).

Como consideramos os micromovimentos associados aos deslocamentos corpóreos durante o movimento do estímulo, acreditamos que os *interbeats* tenham sido prejudicados. Esse processamento não nos permitiu a correlação entre estímulo visual aplicado e batimento gravado, embora nos tenha levado à faixa de batimento característica nas aranhas saltadoras (Fig.5. 9).

5.3.2.2. Histograma considerando cada intervalo de 5s

A comparação dos *interbeats* de intervalos de 30s para analisar semelhanças e diferenças entre os histogramas não foi satisfatória. Um dos principais motivos para isto foi a liberdade de movimentos da aranha, gerando variações da frequência e amplitude do sinal (provenientes de deslocamentos do corpo e membros) durante a movimentação do estímulo. Se consideramos os *interbeats* de todo intervalo igualmente, estamos incluindo o intervalo onde há movimentos predominantemente do corpo e/ou apêndices, não sendo possível interpretar a informação cardíaca com esse processamento. Então, passou-se a processar cada intervalo de 5s, uma vez que a cada 5s, o estímulo muda de ação (Fig.3. 16). Essa nova abordagem permite analisar os outros intervalos de 5s, independentemente, onde geralmente não ocorrem micromovimentos do corpo.

Haveria diferenças entre os histogramas de *interbeats* anteriores e posteriores à movimentação do estímulo? Se houvesse, poderíamos questionar se a visão não seria a responsável pela variação provocada no comportamento periódico do sinal (batimento cardíaco), representado pelos *interbeats*.

Analisados individualmente, arquivos dos 30s de sinal, divididos em intervalos de 5s, são mostrados em histograma de *interbeats* e no espectro de frequência, utilizando mesmos sinais de batimento da seção anterior, relativos ao experimento 1. No apêndice C – parte II, mostra-se o mesmo estudo para arquivos de outros experimentos.

Tendo verificado que as médias para grupos de arquivos não acrescentavam informações relevantes, uma vez que diluíam as diferenças entre os histogramas, não processamos os histogramas médios.

Analisamos os histogramas de 5s para o intervalo anterior e posterior ao movimento do estímulo para os vários experimentos e percebemos que tanto podiam apresentar muitas semelhanças quanto podiam variar enormemente, independente do tempo de submissão ao experimento (se fosse um batimento do início do experimento quanto do final).

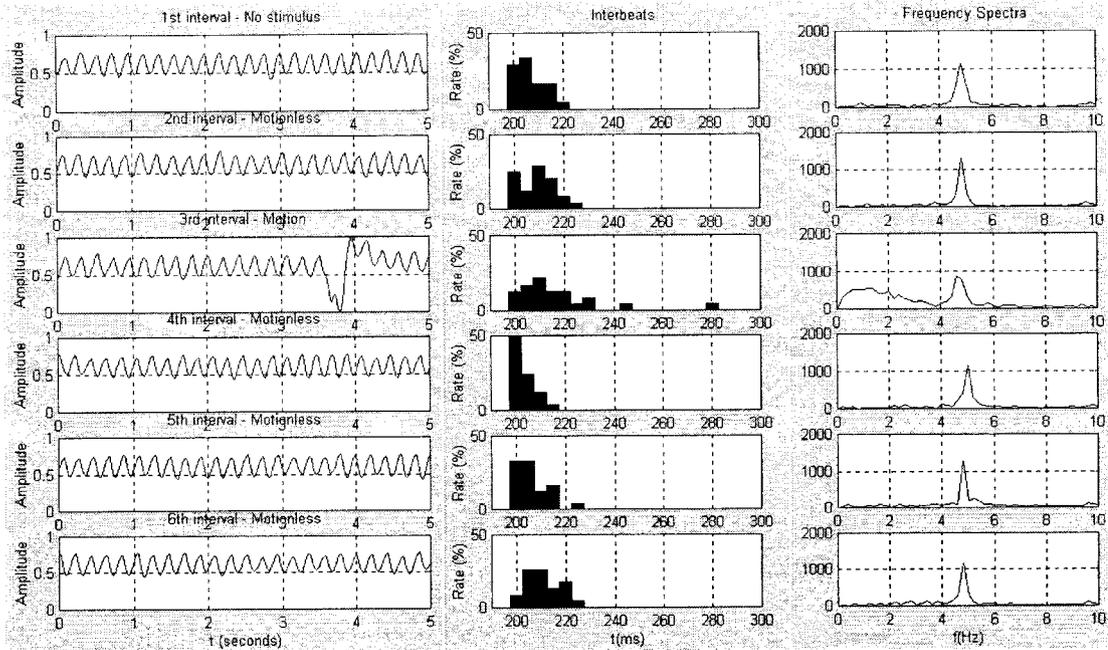


Fig.5.13. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn1

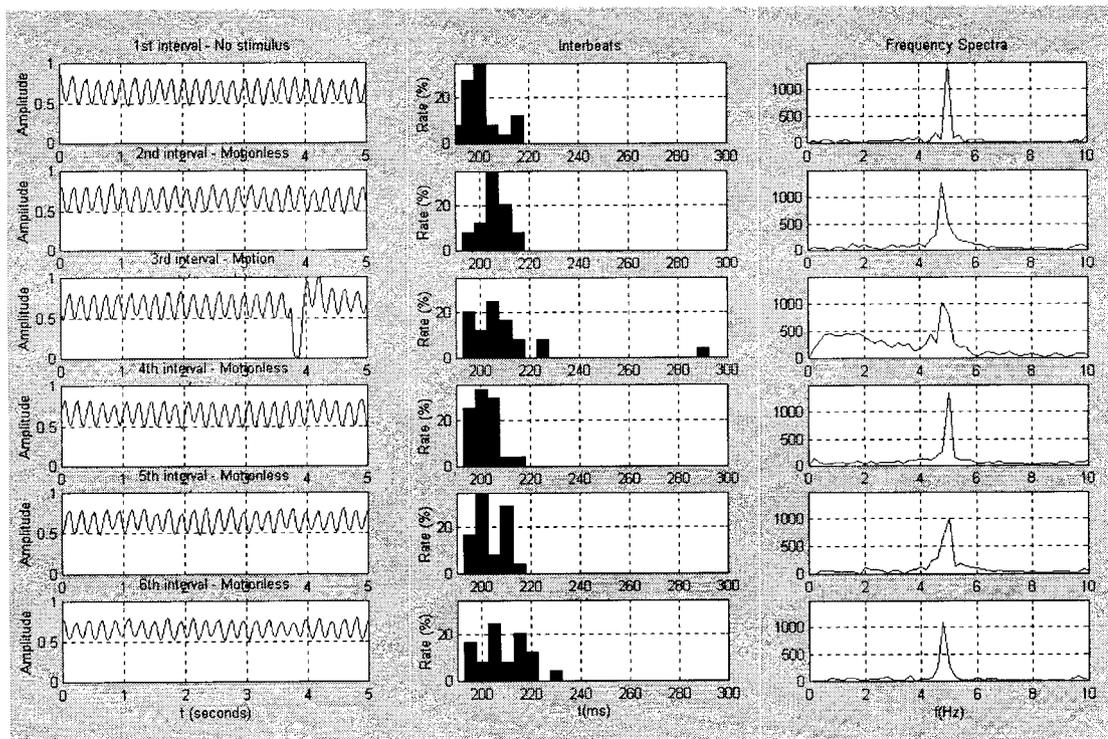


Fig.5.14. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn1

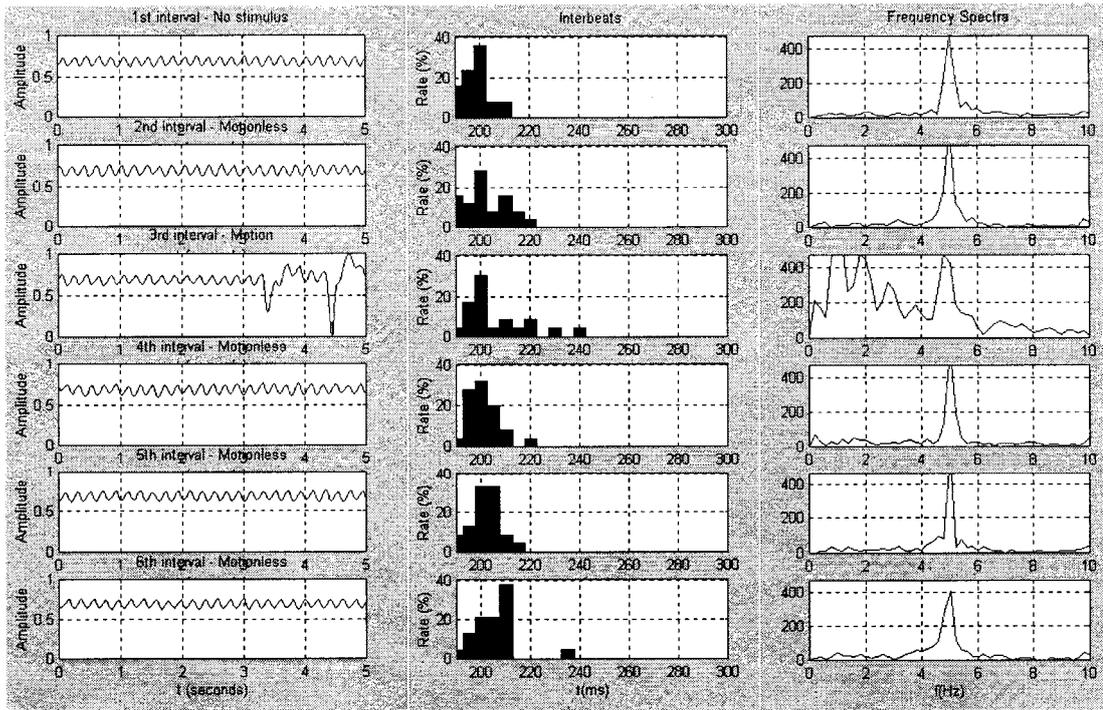


Fig.5. 15. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1- estímulo lyn2

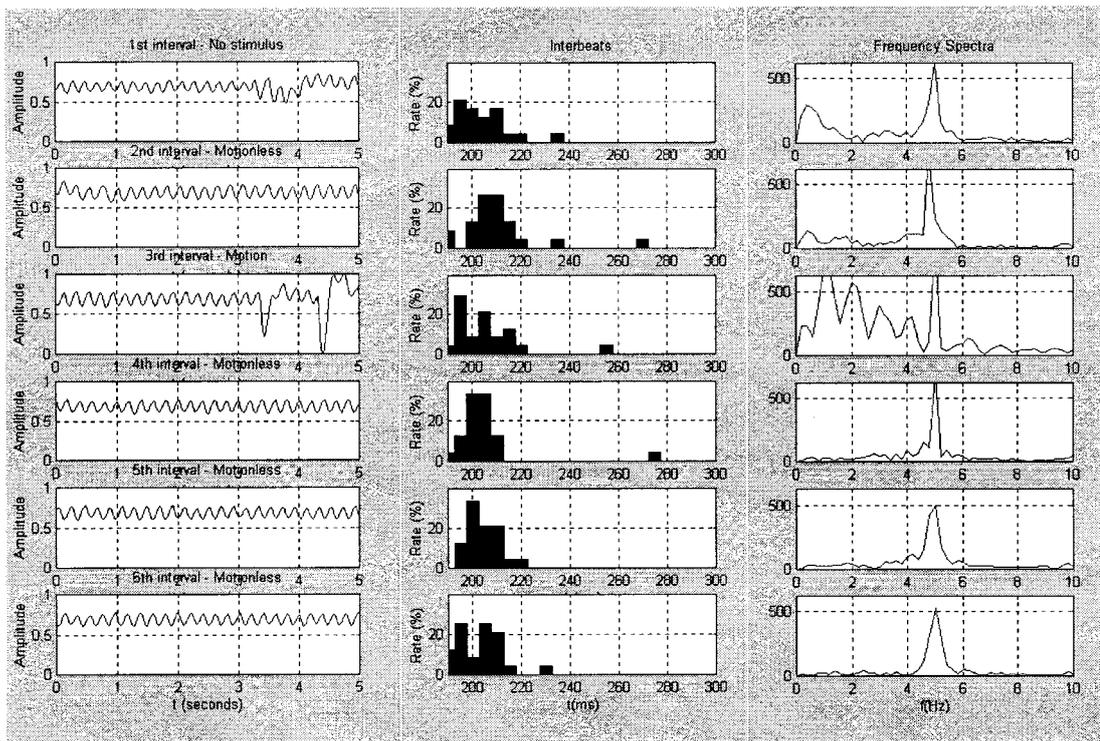


Fig.5. 16. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn2

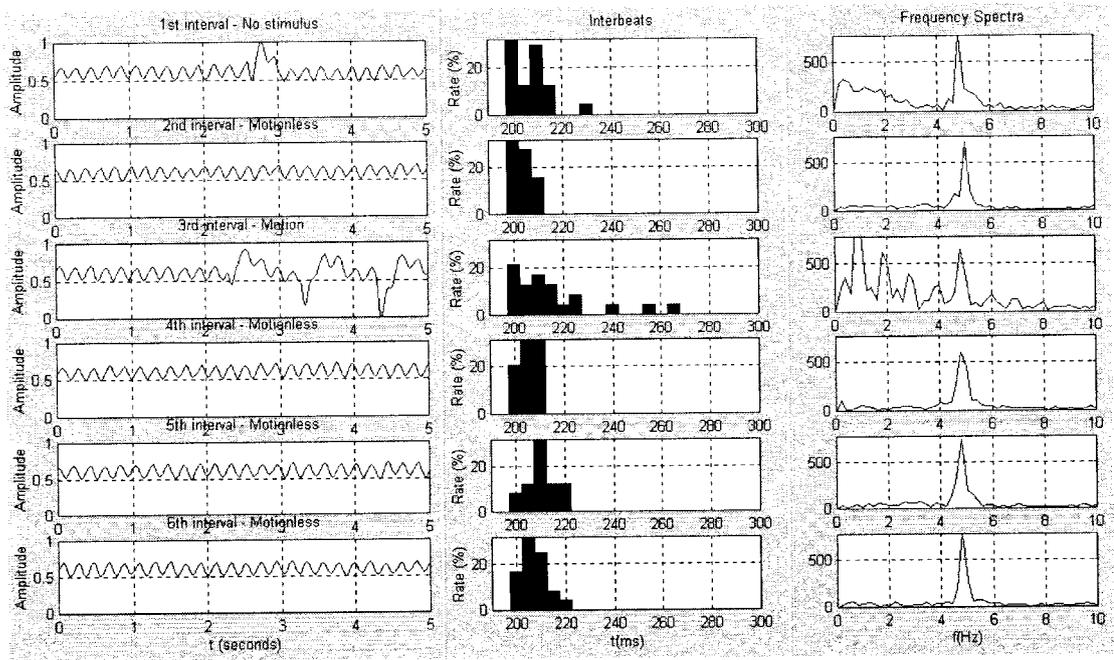


Fig.5. 17. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn3

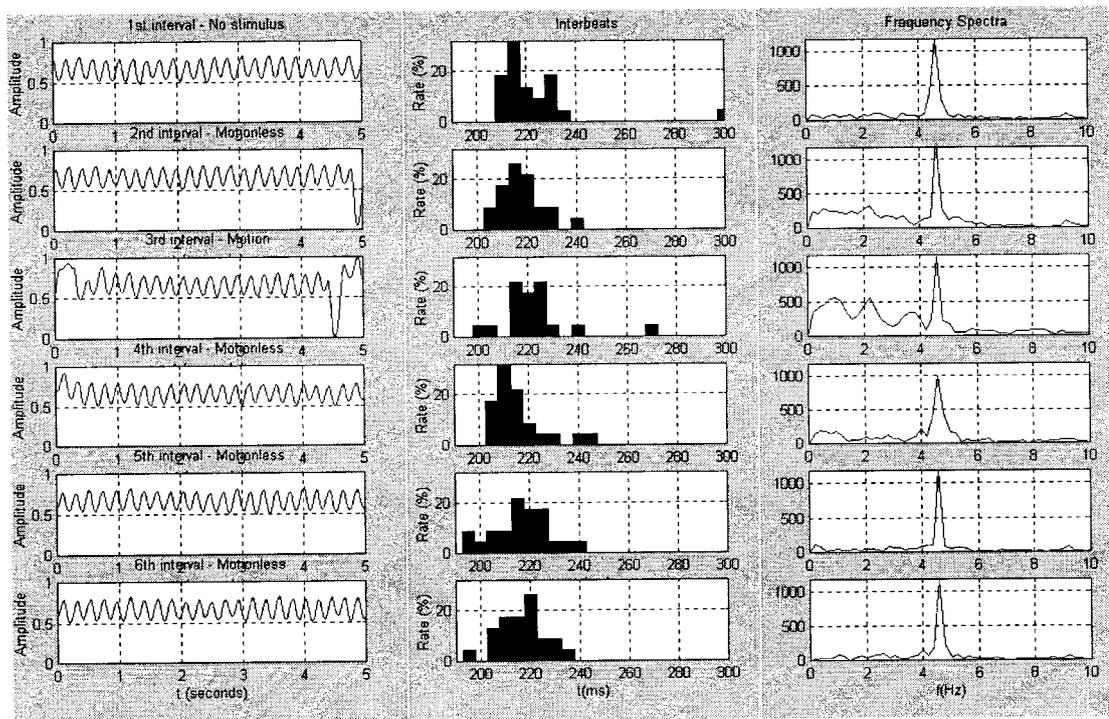


Fig.5. 18. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn3

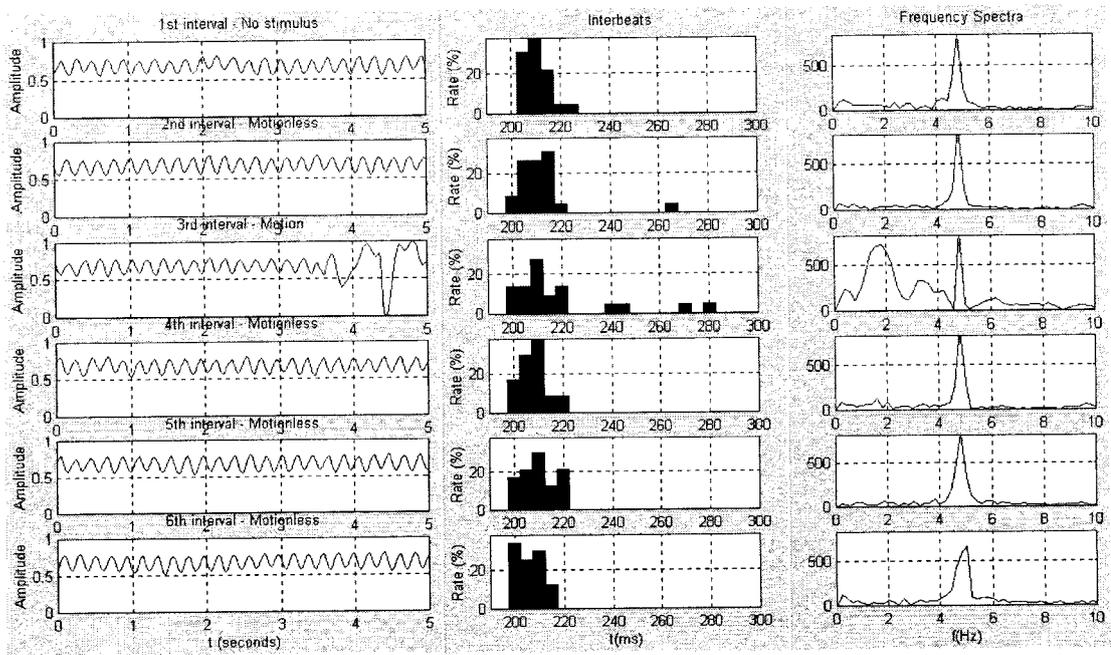


Fig.5.19. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s do 2º arquivo do experimento 1 - estímulo lyn4

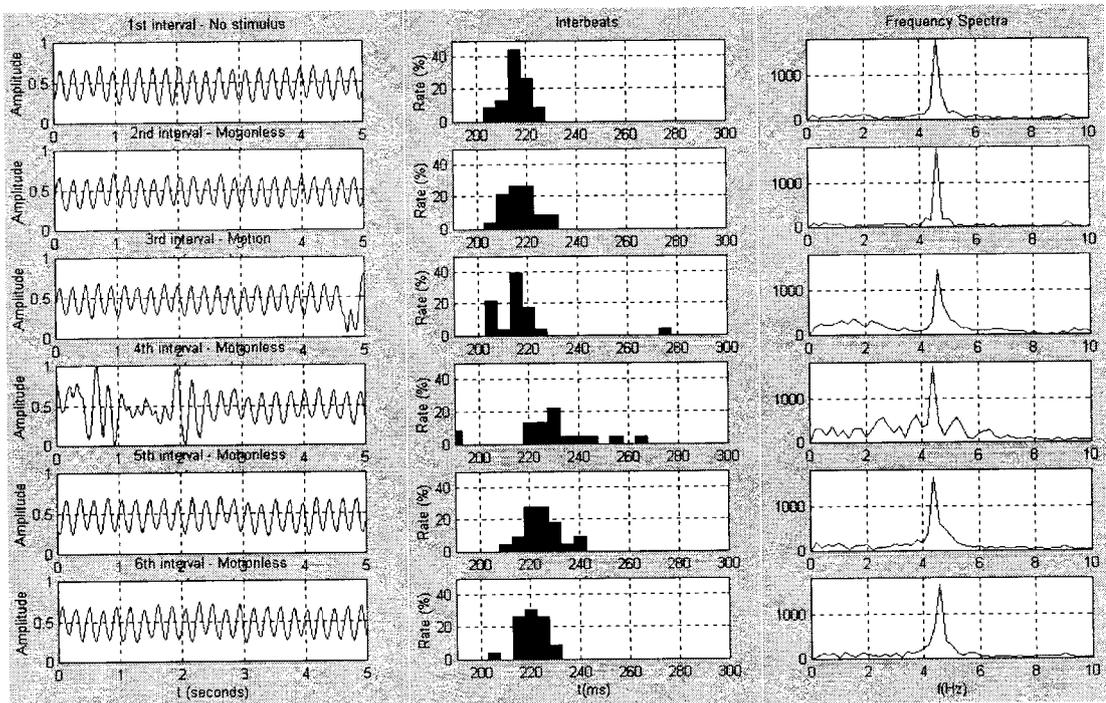


Fig.5.20. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do experimento 1 - estímulo lyn4

A variação de frequência e variação das componentes frequenciais do batimento cardíaco continuaram indefinidas quando relacionadas aos diferentes estímulos visuais considerados. Embora não permitindo concluir se os estímulos visuais realmente repercutem em modulações cardíacas, verificamos que o pico de frequência fundamental de batimento variava para intervalos de um mesmo arquivo. Restava-nos verificar como ocorria essa variação.

5.3.3. Variação do pico de frequência fundamental de batimento

Continuamos a busca por diferenças entre os intervalos anterior e posterior ao movimento do estímulo, medindo o aumento ou diminuição da frequência entre esses intervalos.

Por que não se estuda a variação de frequências para o intervalo onde ocorre o movimento, propriamente? Pois nesse momento a aranha efetua movimentos do corpo e/ou dos membros, inutilizando o sinal para estudos em termos frequenciais e de amplitude, como foi detalhado na capítulo 3.

Seja $H(f)$, a transformada de Fourier do intervalo de 5s do sinal, chamaremos de pico de frequência fundamental de batimento, a maior intensidade ($|H(f)|^2$) de uma determinada frequência f . Esse pico de frequência oscila para os diferentes períodos de 5s do sinal e queremos saber, particularmente para o intervalo anterior e posterior ao movimento do estímulo, como se dá essa variação.

Procurou-se pelo pico de frequência fundamental, restringindo-nos à faixa de 1 a 10 Hz do espectro de frequências, onde se encontram as componentes frequenciais de maior amplitude e contendo o intervalo de batimento cardíaco da aranha saltadora.

Procedimentos:

1. Definição do intervalo em que ocorre o batimento: determina-se os picos de frequência relativos à amplitude máxima do primeiro arquivo (f_{primeiro}) e do último ($f_{\text{último}}$) arquivo do experimento, determinando uma faixa de variação dos picos de batimento. A faixa de procura de pico para todo um experimento será:

$$[(f_{\text{último}} - 1), (f_{\text{primeiro}} + 1)], \text{ se } f_{\text{primeiro}} > f_{\text{último}},$$

ou

$$[(f_{\text{primeiro}} - 1), (f_{\text{último}} + 1)], \text{ caso contrário;}$$

2. Para todos os arquivos de batimento:

- verifica-se as frequências do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao intervalo em que a aranha foi estimulada com imagens em movimento. Na Fig.5. 21, exemplifica-se o processamento de um arquivo, onde houve uma variação do pico de frequência ($f_1 - f_2$) igual a 0.4 Hz, ou seja, houve uma redução da frequência de batimento, neste caso, após a movimentação do estímulo.

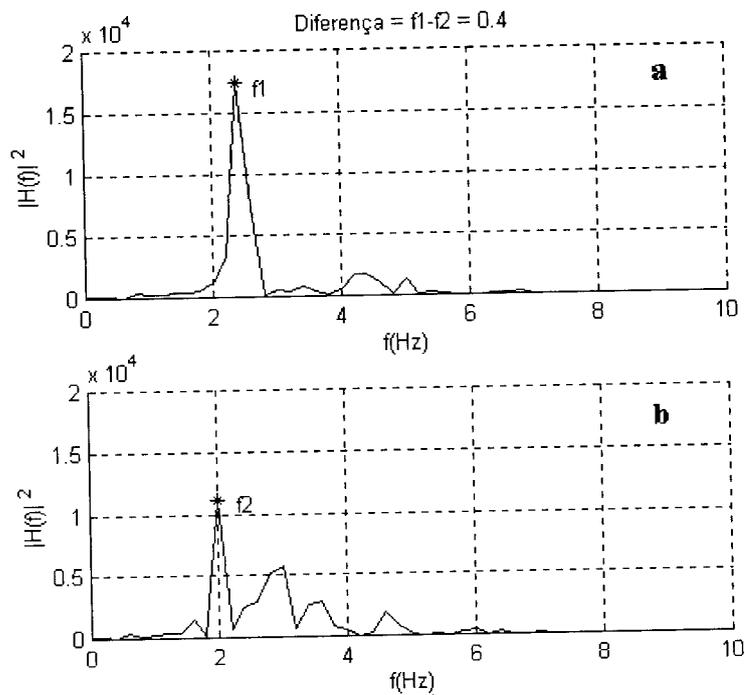


Fig.5. 21. FFT de intervalos de 5s para o qual o estímulo está parado: a) pico de frequência correspondente ao intervalo anterior ao movimento e b) pico de frequência correspondente ao intervalo posterior ao movimento

- Calcula-se a diferença $f_1 - f_2$, picos de frequência das Fig.5. 21.a) e Fig.5. 21.b), respectivamente.
3. Repetido o cálculo da diferença para cada um dos arquivos, agrupando-os em termos do estímulo apresentado, obteve-se a Fig.5. 22 para o experimento 1.

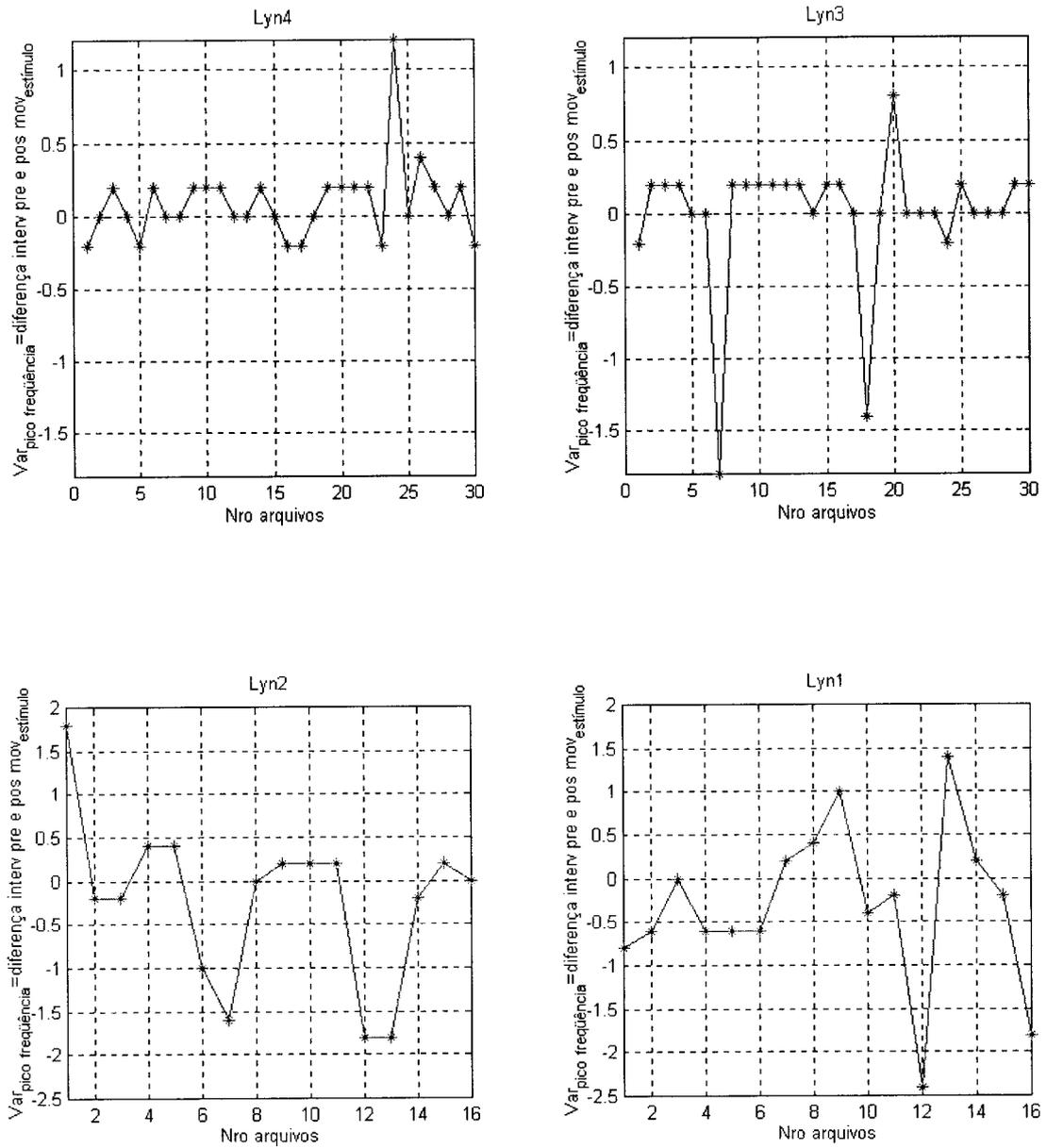


Fig.5. 22. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 1, considerando os estímulos da Fig.3. 14

Os gráficos acima fornecem a diferença da frequência do intervalo anterior e o posterior ao intervalo de movimento do estímulo visual, ao longo do experimento 1. Para observar os outros experimentos, vide Apêndice B) A distância entre um ponto e outro é de 30s, uma vez que esse é o tempo de gravação de cada arquivo. A partir desses processamentos, elaboramos a Tabela 5. 4, onde temos as porcentagens de ocorrências de:

- Diminuição de frequência após estimulação ($f_1 > f_2$);
- Frequência estável;
- aumento de frequência após estimulação ($f_1 < f_2$).

Tabela 5. 4. Porcentagem da ocorrência de aumento, diminuição ou estabilidade da frequência após estimulação visual

E	Δf	Experimentos					
		1	2	3	4	5	6
L y n 1	$f_1 > f_2$	31.25	42.86	62.50	35.14	53.33	23.33
	$f_1 = f_2$	6.25	14.28	16.67	18.92	3.33	23.33
	$f_1 < f_2$	62.50	42.86	20.83	45.94	43.33	53.33
L y n 2	$f_1 > f_2$	43.75	45.71	29.17	51.35	40.00	46.66
	$f_1 = f_2$	12.50	11.43	41.66	10.81	20.00	26.67
	$f_1 < f_2$	43.75	42.86	29.17	37.84	40.00	26.67
L y n 3	$f_1 > f_2$	50.00	40.00	54.17	43.24	43.33	40.00
	$f_1 = f_2$	36.67	17.14	8.33	37.84	6.67	40.00
	$f_1 < f_2$	13.33	42.86	37.50	18.92	50.00	20.00
L y n 4	$f_1 > f_2$	46.67	42.86	58.33	54.05	43.33	36.67
	$f_1 = f_2$	33.33	22.86	4.17	18.92	3.33	43.33
	$f_1 < f_2$	20.00	34.28	37.50	27.03	53.34	20.00

E = estímulo

Δf = variação de frequência pico a pico entre os intervalos anterior e posterior ao movimento

Analisando as variações de frequência ao longo do experimento, nada se percebeu em relação a uma tendência do sinal para nenhum dos experimentos. A probabilidade de ocorrência de diminuição de frequência ou aumento de frequência após estimulação é muito tênue para afirmarmos a ocorrência de uma delas, precisamente.

5.4.Existência de mecanismo de adaptação

A resposta da aranha *Salticidæ*, na dissertação, é indicada pela presença de modulações do sinal durante a apresentação de estímulos particulares. Podemos falar de adaptação da aranha aos estímulos visuais por observarmos que somente após um intervalo de 30 horas, aproximadamente, era garantida a independência entre um experimento e outro, se com a mesma aranha, ou seja, após esse intervalo de tempo, a aranha volta a responder aos estímulos visuais.

Pode se pensar que o cessar da atividade momentânea seja devido à exaustão, uma vez que seus músculos fadigam rapidamente por conterem poucas mitocôndrias, organelas responsáveis por prover energia para a célula [Foelix 1996]. Porém, como o cessar de resposta ocorre após 15 minutos, tempo relativamente longo, é possível que o fim das reações esteja ligado a um mecanismo de adaptação. Foi verificada a permanência da informação no indivíduo por mais de 24 horas. Mesmo com um sistema nervoso mais simples em relação ao humano, consistindo apenas de um conjunto de gânglios, provavelmente ela possui memória de curta duração.

Mas, qual é o tempo de submissão ao experimento necessário para o cessar da perturbação no sinal? Parece que, após 15 minutos, a aranha sob estimulações repetidas, sofre adaptação ao estímulo, pois o batimento cardíaco passa a ser mais nítido no intervalo de movimentação de estímulo, onde se esperaria haver reação (uma maior variação na amplitude do sinal). Na Fig.5. 24, apresenta-se o gráfico de todo o experimento 1, onde os eixos indicam:

- tempo de duração de um arquivo de micromovimentos, ou seja, uma estimulação completa (30s), simbolizado por $t(s)$;
- simbolizado por exp , o número de arquivos gravados relacionado a um certo

estímulo visual (dado pelo título da figura) apresenta-se ordenadamente conforme foram gravados no experimento.

A Fig.5. 24 permite uma visão global do experimento, mostrando os micromovimentos e macromovimentos que ocorrem em função do estímulo visual. Note que os estímulos *lyn1 lyn2* desencadeiam maior reação e por um longo intervalo de tempo em relação a *lyn3* e *lyn4*, embora tenham sido apresentados depois de *lyn3* e *lyn4* na gravação do experimento 1, em particular.

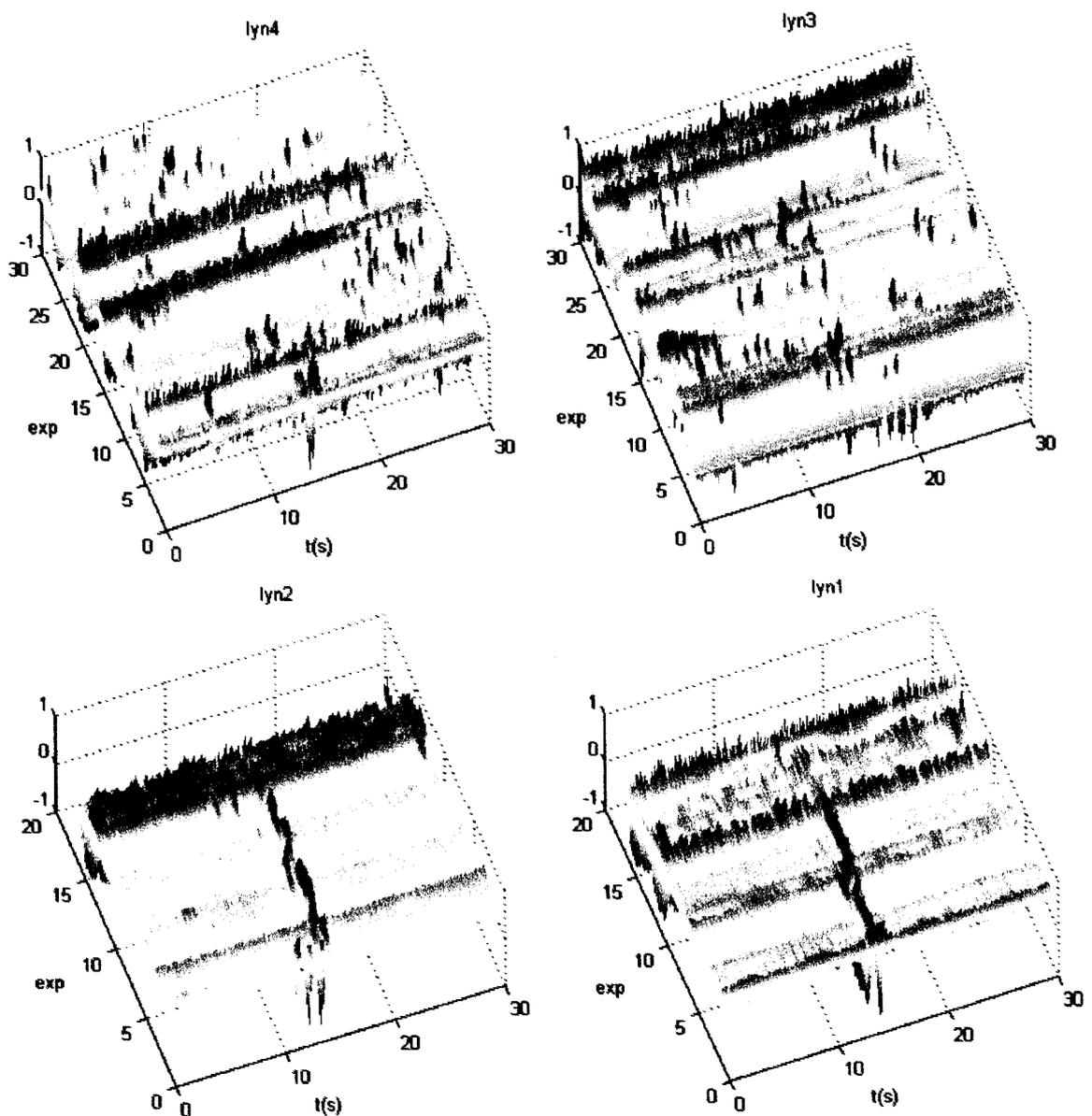


Fig.5. 23. Visão global do experimento com cada estímulo visual: sinais no tempo (s), previamente filtrados (seção 5.2), ordenados conforme foram gravados durante o experimento (exp).

Como a reação é identificada por uma grande variação no sinal, se ao invés de mostrarmos os sinais originais, que são muito grandes, lentos para serem manipulados com o equipamento disponível (cada figura, para um determinado estímulo, necessita de aproximadamente 2.30 Mb para armazenamento de todos os pontos) e apresentam variações de amplitude em diversas escalas, propusemos um algoritmo para captura das maiores variações de amplitude em cada arquivo de micromovimento e então se salientaria a característica necessária para observar a reação da aranha. A Fig.5. 24 e Fig.5. 25 exemplificam a evolução do experimento, através dos sinais de micromovimentos transformados em gráficos de variação da amplitude, feitos através dos seguintes passos:

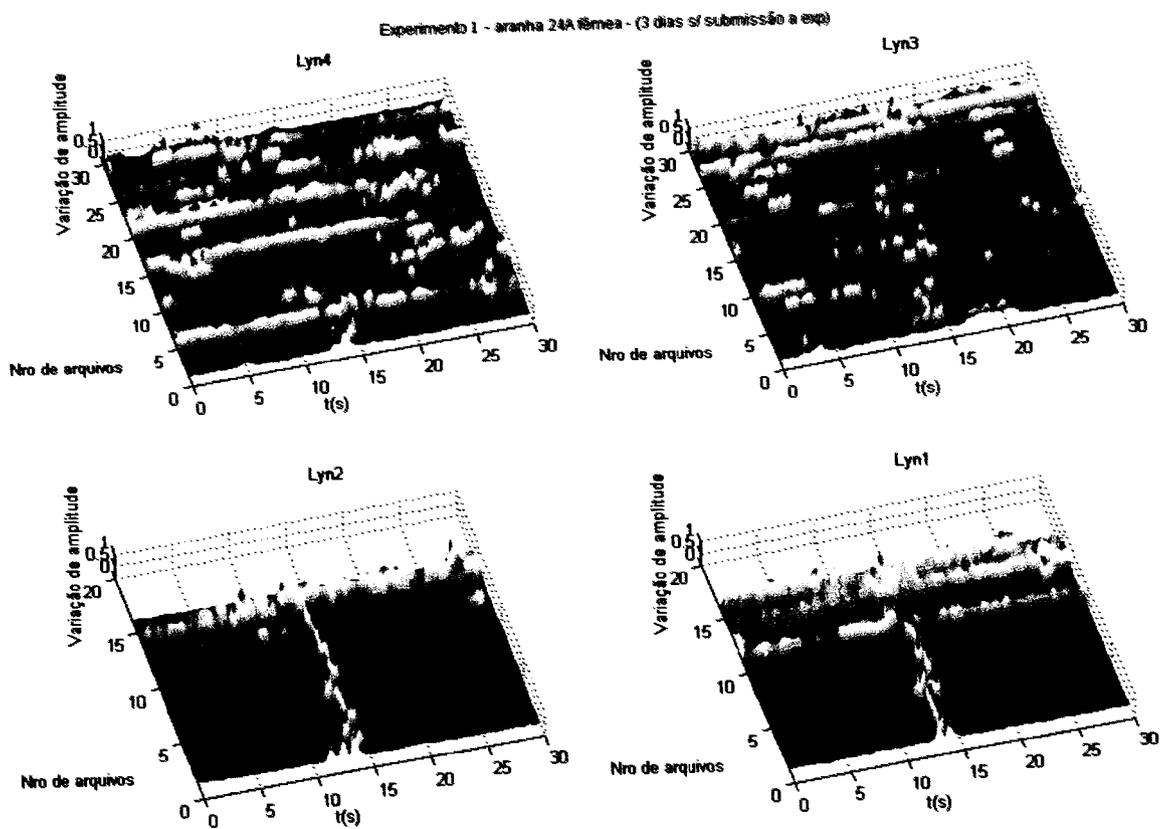


Fig.5. 24. Variação da amplitude ao longo do experimento 1

1. Para cada sinal, verifica-se a diferença entre a máxima e mínima amplitude a cada janela de 0.5s, cada uma fornecendo uma amplitude máxima e mínima, cuja diferença dará cada um dos pontos dos gráficos (Fig.5. 24, Fig.5. 25). Dessa

forma, pode-se representar a variação de frequência para uma região do sinal. A variação de amplitude tende a ser maior nos momentos de maior excitabilidade da aranha, coincidindo com o movimento do estímulo;

2. Em média, apenas nos primeiros 15 arquivos, a reação ao movimento do estímulo apresenta variações distintamente maiores de amplitude. Ocorre um processo de adaptação aos estímulos visuais.

Esse processamento sobre o sinal é possível definindo-se uma janela que tenha pelo menos o dobro do período do batimento, não descaracterizando o sinal devido a efeitos de *alias*. Uma janela de tamanho 0.5s garante que os maiores períodos para batimentos ($1/2.5\text{Hz} = 0.4\text{s}$) sejam captados. A medida de variação de amplitude na janela torna mais rápida a elaboração de gráficos, além de facilitar a análise da diferença entre a máxima e mínima amplitudes de uma região do sinal.

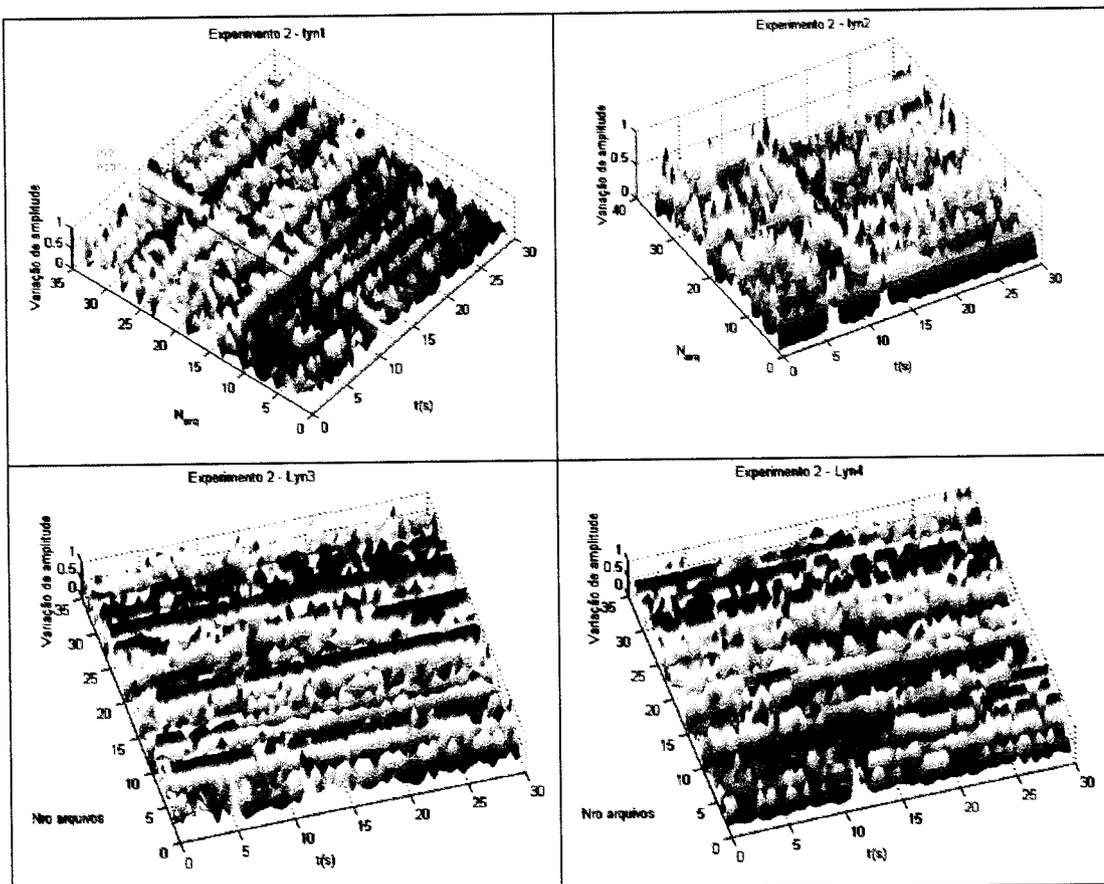


Fig.5. 25. Variação da amplitude ao longo do experimento 2

6. Resultados da pesquisa

A visão da família Salticidæ é a mais desenvolvida dentre os invertebrados terrestres e especializada na percepção de segmentos de reta, processamento feito também no córtex visual humano [Costa 1999]. Como a aranha enxerga cenas como contínuas, desde que apresentadas com aproximadamente 40 quadros por segundo [Clark, Uetz 1990], propôs-se a utilização de imagens de computador no estudo comportamental das cobaias, aproveitando resultados da pesquisa de Forster [Forster 1985], como melhor velocidade do estímulo e tipos de figuras, além de estabelecer comparações de resultados quanto a atratividade do estímulo em relação à reação da aranha.

Antes de se abordar o experimento, foram importantes os estudos biológicos de aranhas Salticidæ, além de sua etologia, fisiologia e psicofísica. Então, propôs-se uma instrumentação eletrônica de custo acessível para medidas de sinais biológicos (micromovimentos, que incluem batimentos cardíacos), um software para aquisição dos sinais e controle dos estímulos visuais, permitindo avaliar o comportamento da aranha.

Coletar informações e estimular visualmente de forma computadorizada possibilitou uma maior objetividade frente a métodos observacionais devido a uma maior padronização.

Foram feitas filtragens sobre os sinais de micromovimentos captados de diferentes cobaias e investigação da possibilidade de diferenciação de resposta para diferentes estímulos visuais por meio de análise de sinais, utilizando diferentes métodos.

Apontaremos, a seguir, alguns detalhes sobre nossos resultados.

6.1. Levantamento bibliográfico

A dissertação corrente envolveu uma exaustiva busca bibliográfica para lidarmos com esses animais nos âmbitos da:

- **Biologia:** a aranha Salticidæ possui um coração neurogênico, ou seja, o controle da contração e relaxação é feita por meio de um gânglio. O sistema respiratório é efetivo por meio dos pseudopulmões (estrutura que permite absorção do oxigênio por osmose), possui um sistema nervoso altamente interconectado, com 25% do cérebro dedicado ao processamento de informação visual.
- **Fisiologia:** os olhos são contíguos ao exoesqueleto, ou seja, este compõe olho, córnea e o cristalino. Como o cristalino não pode contrair nem relaxar, a “solução evolutiva”, para o par de olhos principais, foi transladar o anteparo de projeção da imagem: a retina é transladada para focalização dos objetos, além de rotacionada, para uma identificação dedicada de retas na imagem. A pressão no prossoma tem influência direta sobre a pressão nas pernas, sendo controvertida a hipótese de influência do coração na pressão da hemolinfa no cefalotórax..
- **Etologia:** possui um comportamento altamente visual em seu cotidiano, do acasalamento à alimentação. Seus predadores são detectados através da visão de um objeto de dimensão maior que 2 vezes seu tamanho em movimento. Elas se alimentam de insetos em geral, são facilmente encontradas em ambiente doméstico bem como silvestre. Mantidas em cativeiro devem ser alimentadas, ao menos, com duas moscas por semana e água à vontade, com temperaturas não inferiores a 20°.

Esse levantamento foi extremamente importante para nossa pesquisa e foi facilitado pelo auxílio de diversos especialistas na área, que contribuíram de inúmeras formas para o andamento dos experimentos, enviando artigos, referências ou emprestando livros, dentre eles, Rogério Bertani e Hilton Japyassu, ambos do Instituto Butantã, Christian Platner da Universitaet Goettingen, Rainer Foelix da University of California [Foelix 1996] e David Hill da Marshall University.

6.2. Instrumentação eletrônica e software de aquisição

Foi proposta uma instrumentação eletrônica alternativa para fisiologia não-invasiva e de custo acessível que permite aquisição de sinais biológicos da aranha saltadora, incluindo os micromovimentos, tais como os batimentos cardíacos. Esse aparato, que lembra um estetoscópio de invertebrado, através de um sensor de efeito

Hall, captura micro deslocamentos de um magneto colado no corpo da aranha.

Os micromovimentos são capturados, digitalizados e armazenados em arquivos de 30s, tarefa desempenhada automaticamente por um programa gerenciador dos experimentos, desenvolvido em Delphi®. Esse programa é responsável pela gravação de um número de arquivos determinado pelo usuário, além de permitir controle dos estímulos visuais que serão apresentados para as aranhas nos experimentos psicofísicos de percepção visual. O aparato para medida e armazenamento repetitivos de micromovimentos representa uma forma mais objetiva e com menor dispêndio de tempo em relação aos outros métodos psicofísicos até então utilizados para o estudo de aranhas saltadoras. Uma outra vantagem desse método é que, se a cobaia for manipulada com cuidado e não sofrer muito com o estresse, ela sobrevive ao experimento.

6.3. Métodos de análise dos sinais de micromovimentos capturados

i. Filtros

Os sinais adquiridos possuem interferência dos 60Hz da linha de força, além dos próprios macromovimentos da aranha, que se apresentam descorrelacionados, representando deslocamentos do corpo e/ou apêndices. Utilizamos filtros gaussianos para atenuar os 60 Hz e outras frequências que fossem maiores que 10Hz, uma vez que buscamos estudar o comportamento cardíaco (2.5 a 6Hz) relacionado ao processamento visual e por essa ser a faixa de maior amplitude do sinal (acima de 30mV).

ii. Estatística sobre atratividade de alguns estímulos visuais

Apresentamos estímulos visuais semelhantes aos de Forster, efetuando movimentos com as mesmas características. Verificamos a correlação entre os movimentos do estímulo visual, correlacionados aos movimentos do corpo e/ou apêndices da cobaia e caracterizamos a atratividade dos diferentes estímulos visuais

de forma similar à pesquisa de Forster. Nosso método de verificar a atratividade do estímulo visual por meio de deslocamentos do corpo e/ou membros permite maior padronização experimental e repetitibilidade, independente da pessoa que gerenciou os experimentos.

iii. Histograma de períodos de batimento (*interbeats*)

Estudamos a HRV através de histogramas de *interbeats*, conceito amplamente utilizado na análise de sinais periódicos.

Processamos histogramas para cada arquivo de sinal e um histograma médio para cada grupo de arquivos (conjunto de arquivos gravados sob mesmo estímulo), incluindo as modulações do sinal que chamamos de reação ou resposta (movimentos predominantemente do corpo e/ou apêndices). Essa abordagem permitiu caracterizar a faixa de batimento das aranhas saltadoras, porém continuamos sem respostas sobre a variação do comportamento cardíaco para diferentes estímulos visuais e sem concluir sobre a variação dos histogramas em função da adaptação ao estímulo visual.

Tentamos minimizar a influência dos movimentos do corpo e/ou apêndices, analisando o sinal separadamente, em intervalos (5s) estabelecidos em função do comportamento do estímulo visual (Fig.3. 16). Analisamos os histogramas para o intervalo anterior e posterior ao movimento do estímulo – diferenças peculiares entre esses histogramas poderiam indicar que o estímulo repercute na variação do comportamento periódico do sinal (batimento cardíaco). Independente do estímulo visual ou do tempo sob apresentação deste, os histogramas variaram de forma aparentemente descorrelacionada. Durante essa análise, extraímos também para cada intervalo, o espectro de frequência, que oscilava ao longo do experimento.

iv. Variação do pico de frequência fundamental de batimento

Observando que havia oscilação no espectro de frequência para o intervalo anterior e posterior ao movimento do estímulo, registramos o pico de frequência de batimento fundamental, ou seja, a componente frequencial de amplitude mais significativa nesses intervalos. Através de gráficos da diferença de frequência para o

intervalo anterior e posterior ao movimento do estímulo não pudemos afirmar nenhuma tendência do sinal ao longo do experimento. A probabilidade de ocorrência de diminuição ou aumento de frequência após estimulação é muito tênue, podendo indicar que não é possível caracterizar essa variabilidade cardíaca em termos de aumento ou diminuição ou talvez não haja mesmo uma variação do batimento cardíaco em termos de estímulos visuais.

v. Mecanismo de adaptação

Pudemos verificar a adaptação que após várias submissões a experimento, a reação da aranha cessava. Para gravarmos micromovimentos que contivessem reações aos estímulos visuais devíamos aguardar ao menos 30 horas.

Observando a ocorrências das reações ao longo de um experimento, parece que o cessar da reação (deslocamentos do corpo e/ou apêndices) se dá após 15 minutos. Porém, mais experimentos são necessários para assegurar tal afirmação.

Embora confirmemos resultados interessantes sobre a forma de processamento do sistema de visão da aranha saltadora, especificamente no que se refere ao tamanho, forma e velocidade dos estímulos através de uma comparação com o trabalho de Forster [Forster 1985], a investigação sobre a relação sistema visual e sistema cardíaco não foi definida. Talvez uma caracterização do batimento cardíaco em termos eletrofisiológicos seja mais preciso na indicação da variação do batimento em termos da visão, ou seja, sem interferência de movimentos externos ao abdômen. Porém, o método invasivo é bastante estressante, diferente do nosso método, onde a aranha não precisa ser lesada.

Confirmou-se a sensibilidade do sistema visual da *Salticidæ* a movimentos dos estímulos, à forma e uma interessante capacidade de adaptação aos estímulos. Para isso, modulações nos seus sinais de micromovimentos foram caracterizadas em termos de perturbações de frequência, amplitude dos micromovimentos e reações, que indicam movimentos externos da cobaia. A aquisição dos sinais é feita através de um aparato acessível, melhorando a repetitibilidade dos experimentos, precisão e conclusões experimentais menos subjetivas a respeito da apresentação de estímulos visuais. Após algumas repetições experimentais, a aranha sofre adaptação ao estímulo e o batimento cardíaco passa a ser bastante regular.

Segundo dados empíricos do corrente trabalho, registrou-se como frequência principal de batimento a faixa de 2.5 a 6 Hz.

7. Desenvolvimentos futuros

A comparação entre experimentos pode ter sido prejudicada, uma vez que utilizamos diferentes cobaias, de diferentes gêneros, coletadas do ambiente natural e não criadas em cativeiro.

Como essa dissertação abrangeu diversas áreas, houve um amplo desenvolvimento horizontal nesta pesquisa, entretanto um menor aprofundamento nas áreas envolvidas. Seria interessante a continuidade desse projeto para uma investigação mais acurada, utilizando outras técnicas de fisiologia para estudo da relação da visão com o coração.

Utilizou-se estímulos visuais bidimensionais, onde somente a percepção de forma foi considerada. Outros estímulos visuais poderiam ser testados, explorando não só a percepção de forma, movimento, mas também a percepção de cores.

Seria interessante caracterizar a “reação” do batimento cardíaco ao movimento do estímulo em termos do tempo necessário para desencadear a reação, ou seja, o atraso (existe um tempo gasto para análise, possivelmente em virtude dos movimentos de rotação da retina) entre o início do movimento do estímulo e essa reação da aranha, para se propor um modelo de processamento nervoso. A utilização de outras formas como estímulos visuais, bem como considerar variação de cor podem ser interessantes em futuras investigações desse sistema visual.

A instrumentação eletrônica e o ambiente de software podem ser utilizados para o estudo de outros animais e outros fenômenos, como a distorção de materiais causadas por variações de pressão e temperatura.

Homeostase se refere à tendência do organismo a manter uma taxa cardíaca e pressão sanguínea relativamente regular em face das condições ambientais. Entretanto nenhuma variável fisiológica dará uma série temporal absolutamente estacionária ou perfeitamente periódica. Flutuações espontâneas podem ser observadas nas funções cardiovasculares, mesmo quando as condições ambientais são bem controladas. Desde que se descobriu sobre a possibilidade desta flutuação, a variabilidade da taxa cardíaca tem sido amplamente estudada. Os métodos tradicionais de análise de HRV, baseados em médias e variâncias são inaptos na detecção de mudanças súbitas no comportamento da taxa cardíaca, usando

interbeats. Assim, faz-se necessária a aplicação de novos métodos de análise derivados da matemática não linear.

8. Bibliografia

[Anderson, Prestwich 1975]

Anderson, J.F. & Prestwich, K.N., (1975), The fluid pressure pumps of spiders (*Chelicerata, Araneae*), *Z.Morph. Tiere* 81:257-277, Springer-Verlag.

[Babu 1985]

Babu, K.S., (1985), Patterns of Arrangement and Connectivity in the Central Nervous System of Arachnids, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), pp. 54-77. Springer-Verlag.

[Barnes, Ruppert 1996]

Barnes, R.D. & Ruppert, E.E., (1996), *Zoologia dos Invertebrados*, 6ª edição.

[Barth 1982]

Barth, F.G. (1982), Neuroethology of the Spider Vibration Sense, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), pp. 54-77. Springer-Verlag.

[Bloomfield 1946]

Bloomfield, P., (1946), *Fourier analysis of time series :an introduction*, New York: John Wiley & Sons, Inc.

[Carlson 1905]

Carlson, A.J., (1905), Comparative physiology of the invertebrate heart. The physiology of the cardiac nerves in the arthropods. *Am. J. Physiol.* 15:127-135.

[Carlson 1996]

Carlson, S., (1996), Detecting Micron-Size Movements, *Amateur Scientist, Scientific American*, 275(2):96-99.

[Clark, Uetz 1990]

Clark, D.L.; Uetz, G.W., (1990) Video Image recognition by the jumping spider, *Maevia inclemens* (Araneæ: Salticidæ), *Anim. Behav.*, (40): 884-890.

[Comstock 1940]

Comstock, J.H., (1940), *The spider book*, .

[Conniff 1996]

Conniff, R., (1996), *Spineless Wonders – Strange tales from invertebrates world*, Henry Holt and Company.

[Costa 1999]

da Costa, F.M.G., (1999), *Reverendo o problema da detecção de retas através dos olhos da aranha*, dissertação (Mestrado).

[Estrozi, Costa 1998]

Estrozi, L. F., Costa, L. da F., (1998), 3.21. Experimentos em eletrofisiologia, In: *VI Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo*, 188.

[Farley, Alkon 1985]

Farley, J., Alkon, D.L., (1985), Cellular mechanisms of learning, memory and information storage, 36:419-494, *Ann. Rev. Psychol.*

[Foelix 1985]

Foelix, R.F., (1985), Sensory nerves and peripheral synapses, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), 54-77. Springer-Verlag.

[Foelix 1996]

Foelix, R.F., (1996), *Biology of Spiders*, Cambridge University Press.

[Forster 1979]

Forster, L.M., (1979), Visual mechanisms of hunting behaviour in *Trite planiceps*, a jumping spider (Araneae: Salticidæ), *New Zeland Journal of Zoology*, 6:79-93.

[Forster 1982]

Forster, L.M., (1982), Visual Communication in Jumping Spiders (Salticidæ), In: *Spider Communication: Mechanisms and Ecological Significance*, 161-211, Princeton University Press.

[Forster 1985]

Forster, L.M., (1985), Target discrimination in jumping spider (Araneae: Salticidæ), In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), 249-272, Springer-Verlag.

[Garcia 1997]

Garcia, I.F., (1997), As Aranhas Saltadoras. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC), IFSC.

[Gonzalez, Woods 1992]

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., (1992), *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company.

[Jackson 1978]

Jackson, R.R. (1978). Life history of *Phidippus johnsoni* (Araneae, Salticidæ), *J.Arachnol.*, 6:1-29.

[Jackson 1982]

Jackson, R.R. (1982), The behavior of communicating in jumping spiders (Salticidæ), In: *Spider Communication: Mechanisms and Ecological Significance*, 213-247, Princeton University Press.

[Jackson, Tarsitano 1993]

Jackson, R.R. & Tarsitano, M.S., (1993), Responses of Jumping Spiders to motionless prey, *Bull.Br. arachnol.Soc.*, 9(4):105-109.

[Jackson, Wilcox 1993]

Jackson, R.R., Wilcox, R.S., (1993), Observations in nature of detouring behaviour by *Portia fimbriata* a web-invading aggressive mimic jumping spider form Queensland, *J.Zool, Lond*, 230:135-139;

[Kamen, Heck 1997]

Kamen, E.W., Heck, B.S., “Fundamentals of Signals and Systems using Matlab “, Prentice Hall, (1997)

[Kozma et al. 1997]

Kozma, R., Kasabov, N.K., Swope, J.A., Willians, M.J.A., (1997), Combining Neuro-Fuzzy and Chaos Methods for Intelligente Time Series Analysis – Case Study of Heart Rate Variability, *IEEE V*:3025-3029.

[Kaston 1953]

Kaston,B.J., (1953), How to know spiders (p/ verificação de classificação).

[Kaston 1980]

Kaston, B.J., (1980), Introducing Spiders in *Spiders*, 1-13.

[Land 1969a]

Land, M., (1969), Movements of the retinae of jumping spiders (Salticidæ: *Dendryphantinae*) in response to visual stimuli, *J Exp Biol* 51:471-493.

[Land 1969b]

Land, M., (1969), Structure of the retinae of the principal eyes of jumping spiders (Salticidæ: *Dendryphantinae*) in relation to visual optics, *J Exp Biol* 51:443-470.

[Land 1985]

Land, M., (1985), The Morphology and Optics of Spider Eyes, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. By F.G.Barth), 54-77. Springer-Verlag.

[Land 1990]

Land, M., (1990), Vision in other animals In: *Images and Understanding* (Ed. by H. Barlow, C. Blakemore, M. Weston-Smith) 197-211. Cambridge: Cambridge University Press.

[Land 1994]

Land, M., (1994), Mechanisms of Orientation and Pattern Recognition by Jumping Spiders (Salticidæ), In: *Information processing in the visual systems of arthropods*, (Ed. by R.Wehner), 231-247, Springer-Verlag.

[Lee et al. 1995]

Lee, B.C., Jeong, K.S., Lee, M. H., Shin, K. S., Minamitani, H., (1995), A complexity measure of heart rate variability in time domain in *IEEE – EBMC and CMBEC*, *IEEE*.

[Maddison 1995]

Maddison, W.P., (1995),

<http://spiders.arizona.edu/Salticidæ/++Salticidæ/anatomy/vision.html>.

[Mäkikallio et al 1998]

Mäkikallio TH, Ristimäe T, Airaksinen KEJ, Peng CK, Golberger AL, Huikuri H V., Heart rate dynamics in patients with stable angina pectoris and utility of fractal and complexity measures. *Am J Cardiol*, 81:27-31

[Marques Filho, Vieira Neto 1999]

Marques Filho, O., Vieira Neto, H., (1999), *Processamento Digital de Imagens*, Brasport.

[Peckham, Peckham 1894]

Peckham, G.W., Peckham, E.G., (1894), The sense of sight in spiders with some observations of the colour sense, *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.*, 10:231-261.

[Pollard et. al 1987]

Pollard, S.D., Macnab, A.M., Jackson, R.R., (1987), Communication with chemicals: pheromones and spiders, In: *Ecophysiology of Spiders*, (ed. by W.Nentwig), 133-141, Springer-Verlag.

[Schmidt 1976]

Schmidt, R.F., (1976), *Fundamentals of Sensory Physiology, Stimuli and Behavior*, (ed. by R.F.Schmidt), 10-11, Springer-Verlag.

[Seyfarth 1985]

Seyfarth, E., (1985), Spider proprioception: receptors, reflexes and control of locomotion, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), 54-77, Springer-Verlag.

[Sherman 1985]

Sherman, R.G., (1985), Neural control of the heartbeat and skeletal muscle in spiders and scorpions, In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), pp. 319-334, Springer-Verlag.

[Snodgrass 1952]

Snodgrass, R.E. (1952), *A textbook of arthropod anatomy*, pp. 106.

[Soares 1993]

Soares, J.L. (1993), *Dicionário etmológico e circunstanciado de biologia*, pp172, Ed. Scipione.

[Spiegel 1976]

Spiegel, M. R., (1976), *Análise de Fourier*, tradução: Alfredo Alves de Farias, Ed. McGraw-Hill do Brasil.

[Storer et. al 1979]

Storer, T.I., Ushinger, R.L., Stebbins, R.C., Nybakken, J.W., (1979), *Zoologia Geral*, McGrall-Hill Book Company, NY.

[Tarsitano, Jackson 1992]

Tarsitano, M.S, Jackson, R.R., (1992), Influence of prey movement on the performance of simple detours by jumping spiders, *Behaviour* 123(1-2):106-120.

[Tiedemann 1993]

Tiedemann, K., (1993), Visual brightness discrimination of the jumping spider *Menemerus bivittatus* (Araneae, Salticidæ). *The Journal of Arachnology*. 21: 1-5.

[Ushizima, Costa 1999]

Ushizima, D. M., Costa, L. da F., (1999), Jumping spider (Salticidæ) ethology with computer aid In: *II Encontro de Aracnólogos do Cone Sul*, 31, Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul ;

[Yamashita 1985]

Yamashita, S., (1985), Photoreceptor cells in the spider eye: Spectral Sensitivity and Efferent Control In: *Neurobiology of Arachnids* (ed. by F.G.Barth), 107-117, Springer-Verlag.

[West 1990]

West, B.J., (1990), *Fractal Physiology and Chaos in Medicine*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

[Witt 1982]

Witt, P., (1982), Communication in Spiders , In: *Spider Communications: Mechanisms and Ecological Significance*, 3-14, Princeton University Press.

Apêndice A – Roteiro Experimental

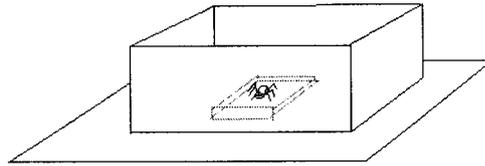
1. Dados fundamentais

- preencher formulário do programa de controle de dados, constando sexo, número da aranha, temperatura do dia, classificação (desejável), entre outros especificados na interface.
- gravar alguns sinais antes de submeter a aranha ao experimento para verificar se o nível de ruído (sinais de *background*). Num dia em que o ruído estiver muito alto, ou seja, acima de 10 mV, o sinal proveniente da aranha quase não será confiável devido às distorções, e então, não vale a pena fazer o experimento (*não prenda a aranha antes de fazer essa verificação para evitar perda de tempo*).
- a aranha utilizada como cobaia está sem ser submetida a experimento pelo menos **a 30 horas**.

2. Imobilização da aranha

- após anestesia com éter, prenda a aranha na placa, colando algumas das pernas (4 pares dianteiros) para evitar que ela fuja ou se movimente muito, ocasionando rompimento de algumas pernas), cole o ímã (verificando previamente que um dos pólos dele esteja voltado para o sensor) e espere um período de no mínimo 24 horas para adaptação à situação, como forma de atenuar o estresse ao qual o indivíduo é submetido ;
- certifique-se de que a placa esteja limpa para que odores não influenciem no comportamento; procedimento utilizado: eliminar vestígios de fita adesiva que tenham ficado do experimento anterior, lavando em água corrente com sabão e uma esponja áspera, depois deixar a placa imersa em solução de água e álcool.

Aconselha-se que se cerque a aranha com algum tipo de papelão ou caixa para que ela não veja a movimentação no local do experimento.



- **não deixar faltar água! Algumas aranhas, que careceram de água por mais de 12 horas, morreram.** Coloque um algodão molhado na frente da aranha, de modo que ela consiga prendê-lo com as quelíceras: isso evita que a cobaia umedeça, diminuindo a probabilidade de fungos e evita que a água bloqueie o sistema respiratório (pseudopulmões);

3. Configuração para aquisição de sinais

- verifique se o plug de entrada de dados vindos do osciloscópio está no encaixe certo (entrada para microfone);
- no Painel de Controle, verifique em *Multimedia*:
- **volume de gravação** (abra o software Gerenciador de experimentos e determine a regulação do som de forma que o sinal seja bem representado para uma aquisição de 0 a 65535 níveis);
- **qualidade preferida**: CD;
- **em customizar**: formato PCM, 44.100 Hz, 16-bits, estéreo, 172 Kb/s;
- **barra de volume**: selecione *Microphone mute* para não haver emissão de sons;
- **barra de gravação**: habilite *Recording* e em propriedades avançadas desabilite o controle de ganho automático para que os sinais mantenham suas diferenças

4. Regulagem do medidor de micromovimentos

- observe se o aterramento do sensor, do amplificador, da gaiola de Faraday estão sendo feitos;
- inserir procedimento de desmagnetização do sensor: basta ficar girando uma ímã, maior que o sensor, perto dele, assim não haverá orientação de cargas.
- verifique se o terra do sensor está conectado à gaiola de Faraday;
- observe o ganho do amplificador, verificando possibilidade de deixá-lo em um, uma vez que a amplificação do sinal leva à amplificação do ruído.

5. Qual é o “melhor” sinal?

- batimento deve ser nítido (com amplitude acima de 30 mV, observada no osciloscópio), ou seja, a oscilação deve estar visualmente evidente (ocupando pelo menos 40% da amplitude total permitida no Gerenciador de Programas);
- embora consideremos 30mV, a amplitude mínima aceita, se o ruído do suprimento de força estiver baixo, é possível perceber o sinal de micromovimento com nitidez, como mostrado na Fig.Ap_A. 1.
- cuidado com o ruído proveniente do suprimento de força;

6. Que sinais devem ser medidos para cada experimento?

- sinais de ruído;
- teste: sinais de micromovimentos para verificar amplitude do sinal; se estiver muito alta, afaste um pouco o sensor da aranha, pois durante o experimento a

amplitude tende a aumentar (principalmente devido a macromovimentos), excedendo os limites impostos pela aquisição.

- sinais de micromovimentos repetidos (geralmente, 30 arquivos pra cada estímulo), correspondente aos diferentes estímulos estipulados;

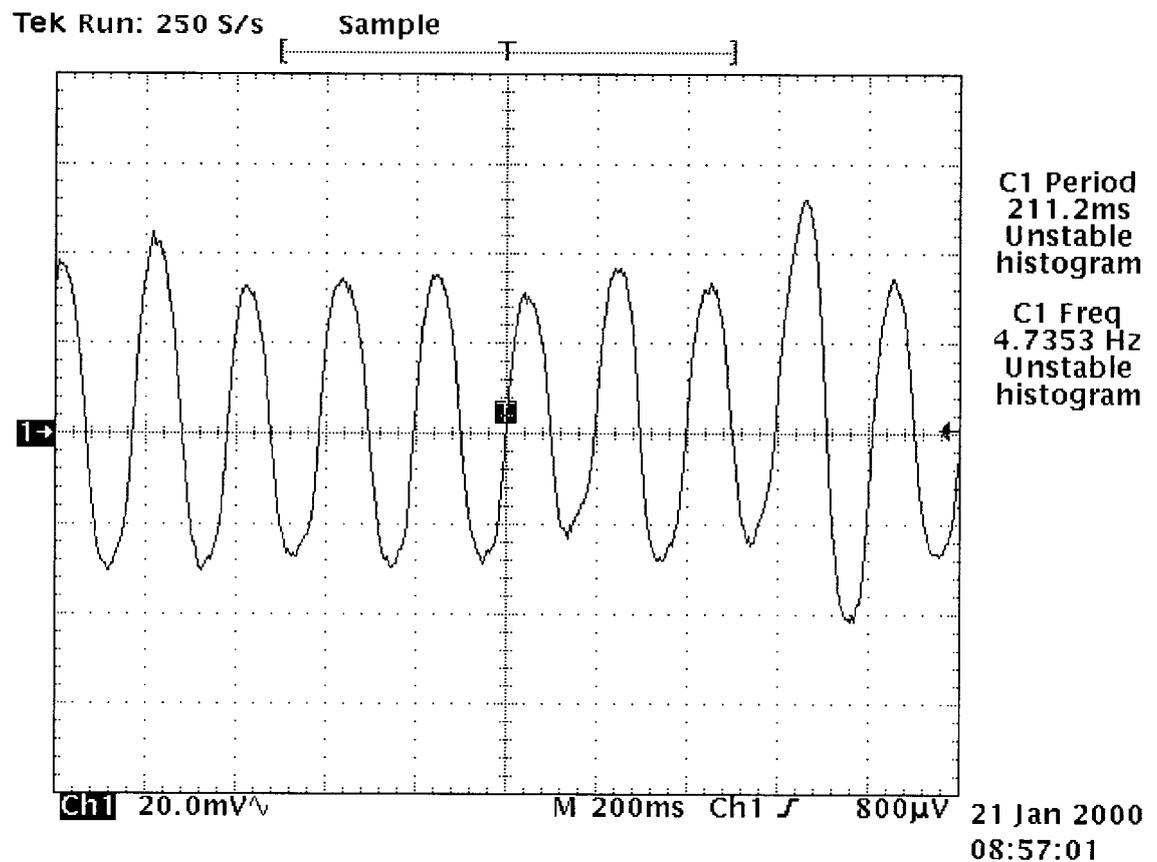


Fig.Ap_A. 1. Sinal de micromovimento da Salticidæ capturada com o osciloscópio TDS460A, de 100MS/s

Apêndice B – Batimentos no domínio temporal

Parte I – Batimentos cardíacos para experimento com movimento de estímulo durante o intervalo [10,15]s (experimento 2) e [15,20] (experimento 6)

Neste apêndice, apresenta-se exemplos da correlação entre o movimento do estímulo e o sinal capturado para os estímulos visuais considerados na Fig.3. 14. Os arquivos de micromovimentos são pertencentes aos primeiros minutos de experimento, durante o qual a reação está relacionada ao movimento do estímulo e não ao estímulo visual propriamente, uma vez que a reação foi desencadeada qualquer que fosse esse estímulo.

As Fig.Ap_B. 1, Fig.Ap_B. 2, Fig.Ap_B. 3 e Fig.Ap_B. 4 mostram 2 arquivos de micromovimentos para cada estímulo utilizado no experimento 2, com a cobaia_2, onde o estímulo se move entre 10s e 15s e as Fig.Ap_B. 5, Fig.Ap_B. 6, Fig.Ap_B. 7 e Fig.Ap_B. 8 mostram micromovimentos do experimento 6, com a cobaia_5, onde o estímulo se move entre 15s e 20s.

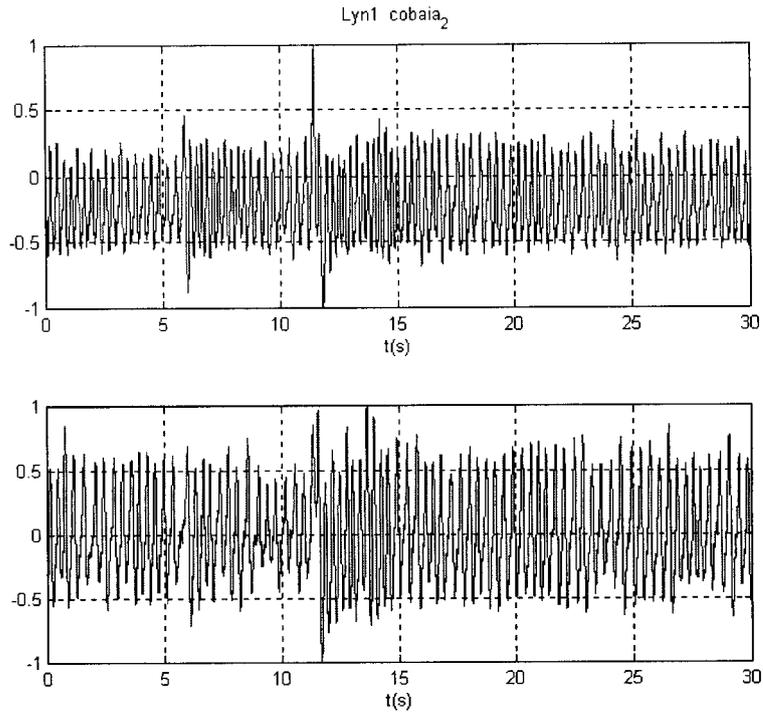


Fig.Ap_B. 1. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn1* entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2

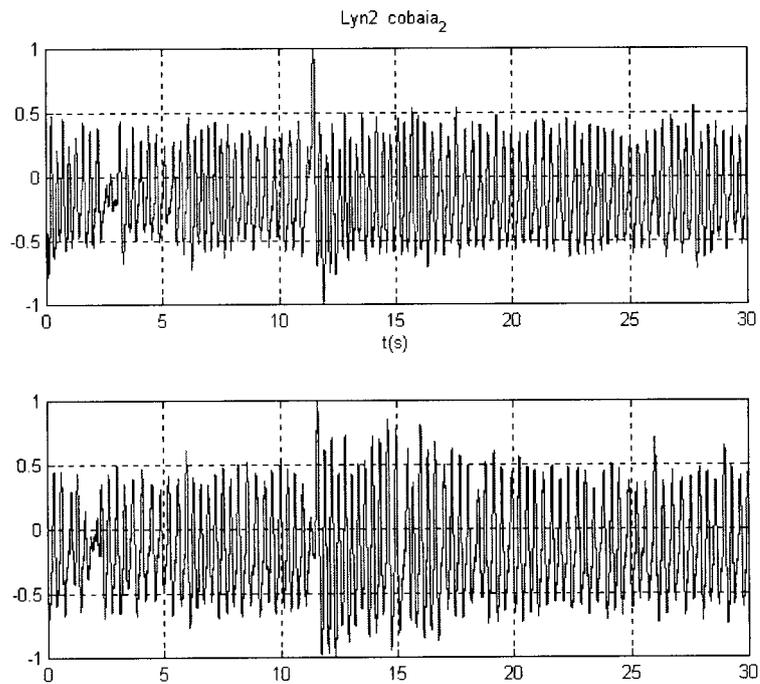


Fig.Ap_B. 2. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn2* entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2

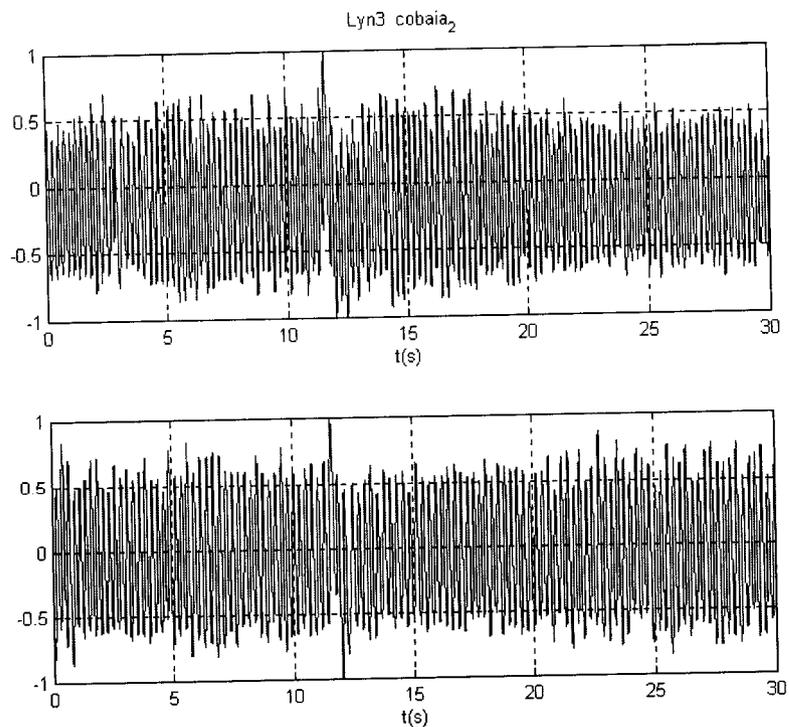


Fig.Ap_B. 3. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn3* entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2

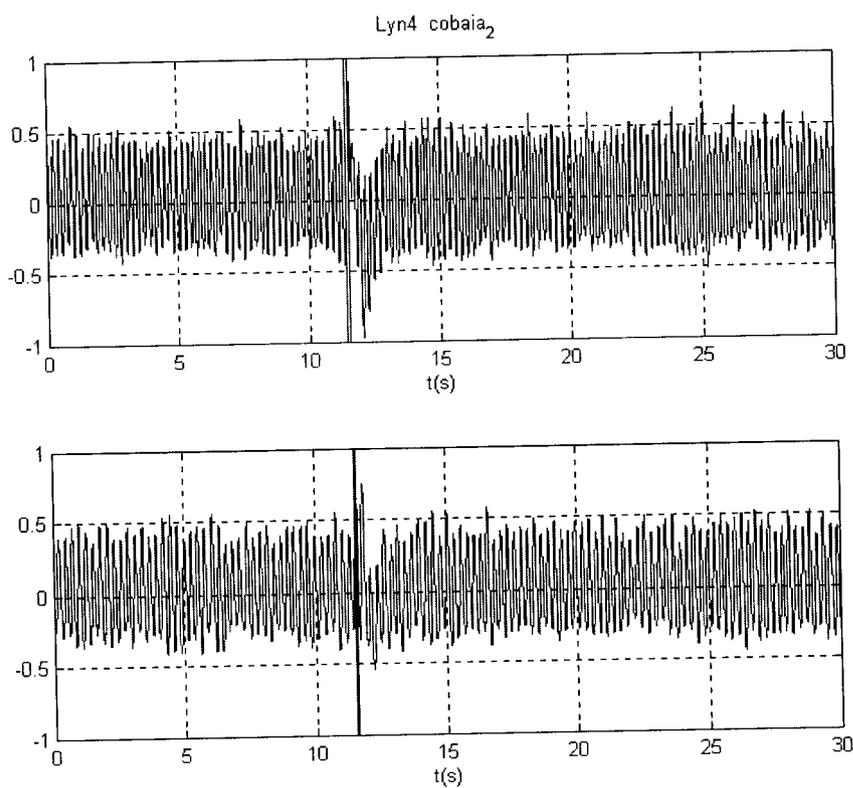


Fig.Ap_B. 4. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn4* entre 10 a 15s, desencadeando resposta da aranha - experimento 2

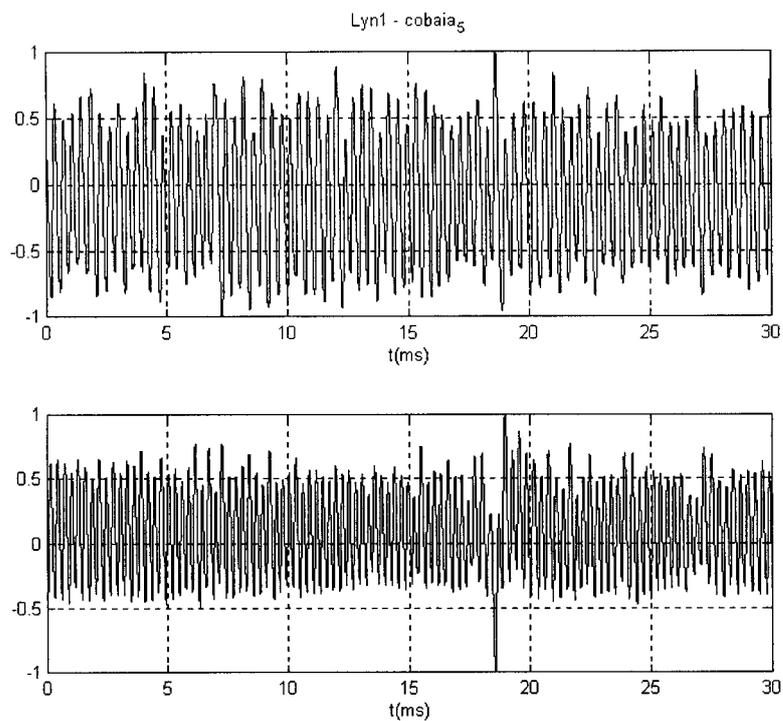


Fig.Ap_B. 5. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn1* entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6

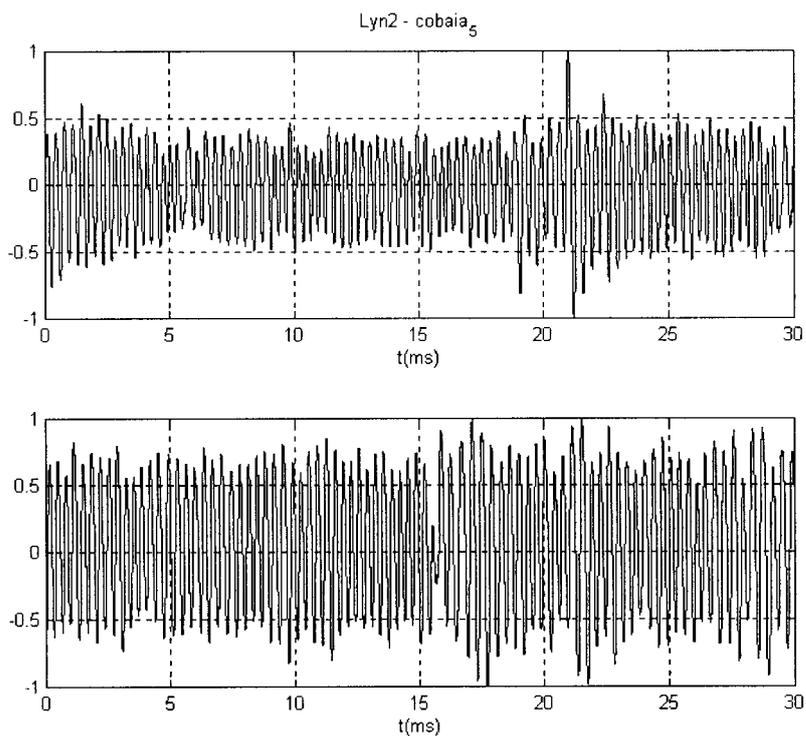


Fig.Ap_B. 6. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn2* entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6

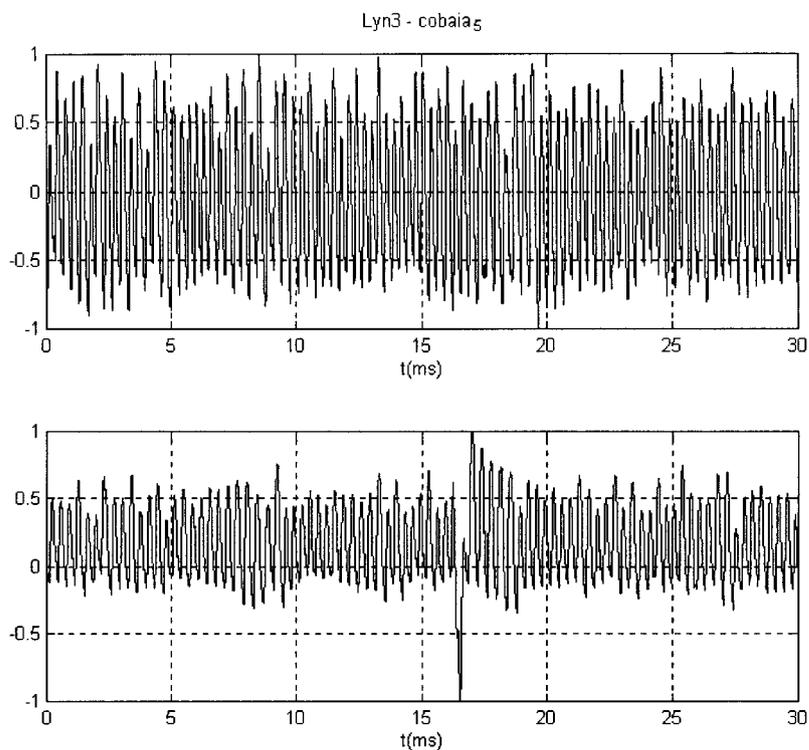


Fig.Ap_B. 7. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn3* entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6

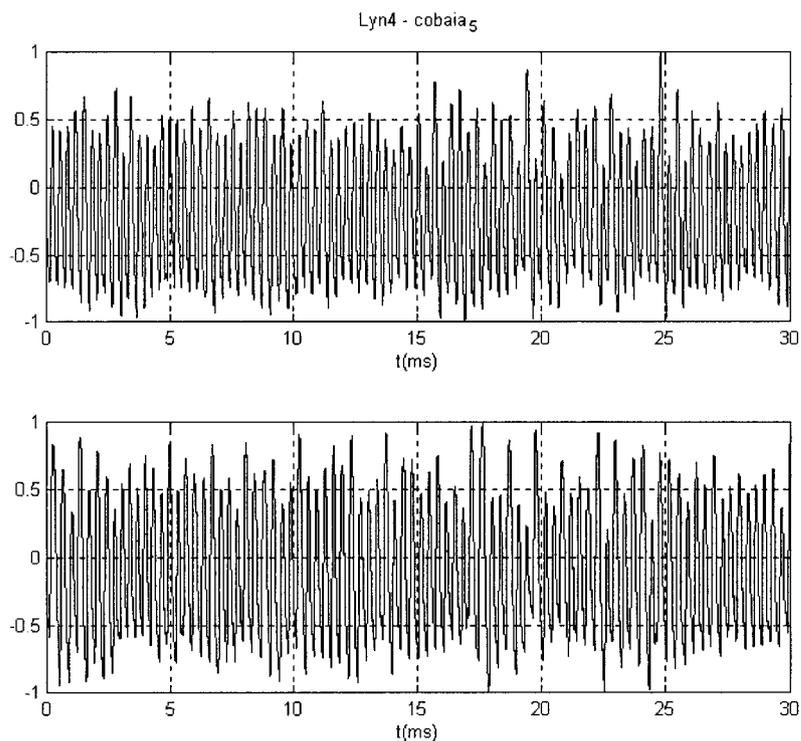


Fig.Ap_B. 8. Reação da cobaia ao movimento do estímulo *lyn4* entre 15s a 20s , desencadeando resposta da aranha - experimento 6

Apêndice C- Interbeats na análise intra/inter experimentos

Parte I: Considerando os 30s de gravação dos batimentos para cada experimento

Histogramas de *interbeats* para arquivos individuais

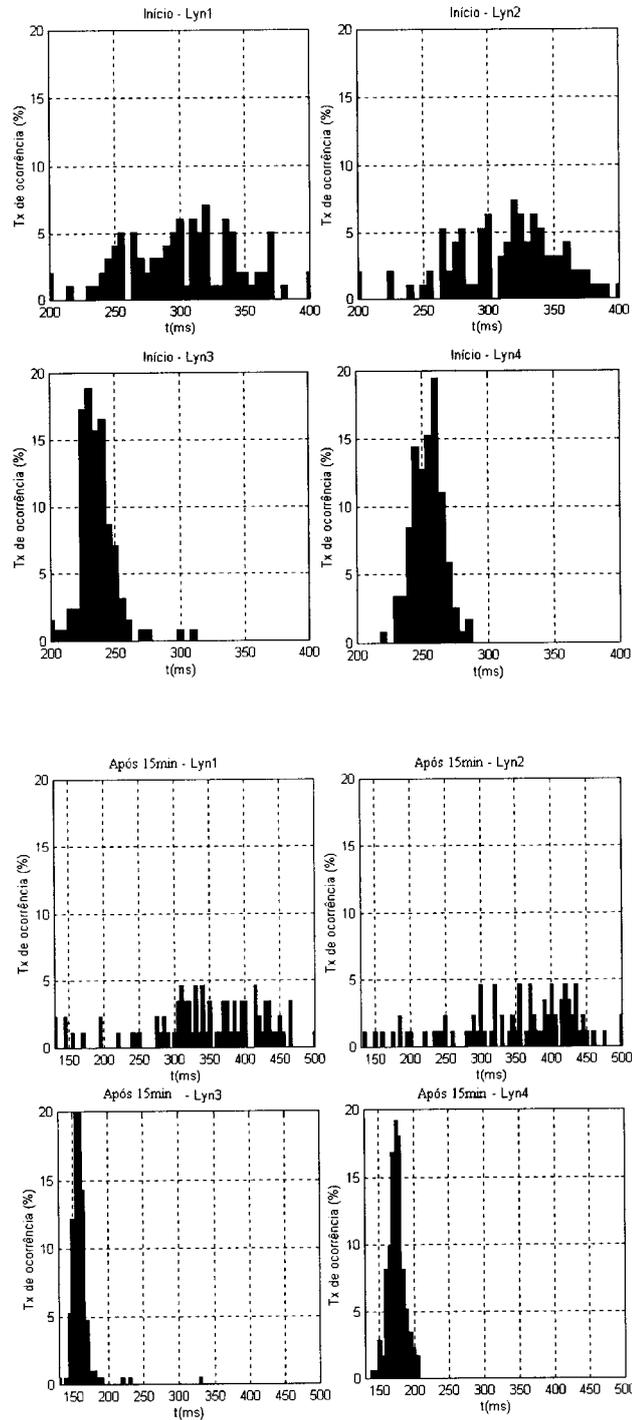


Fig.Ap_C. 1 Histograma de *interbeats* de 1 arquivo - experimento 2

Histogramas médios de *interbeats*

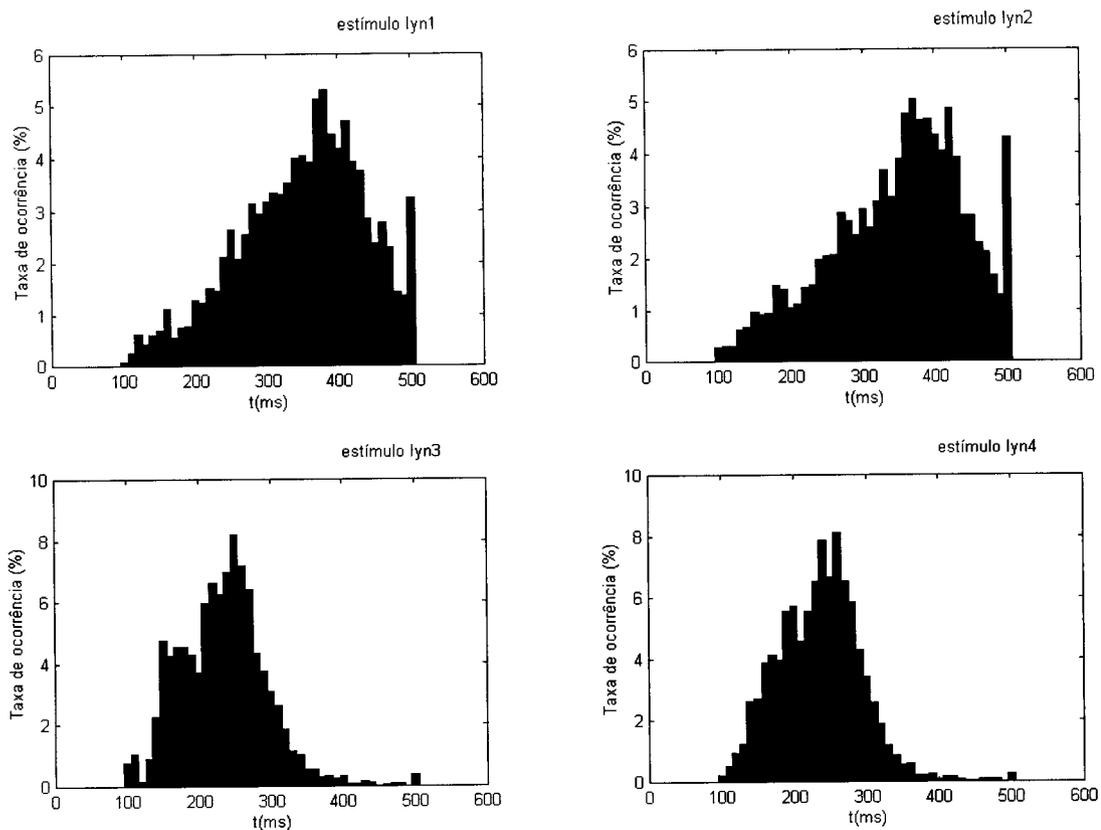


Fig.Ap_C. 2. Histograma médio dos *interbeats* - experimento 2

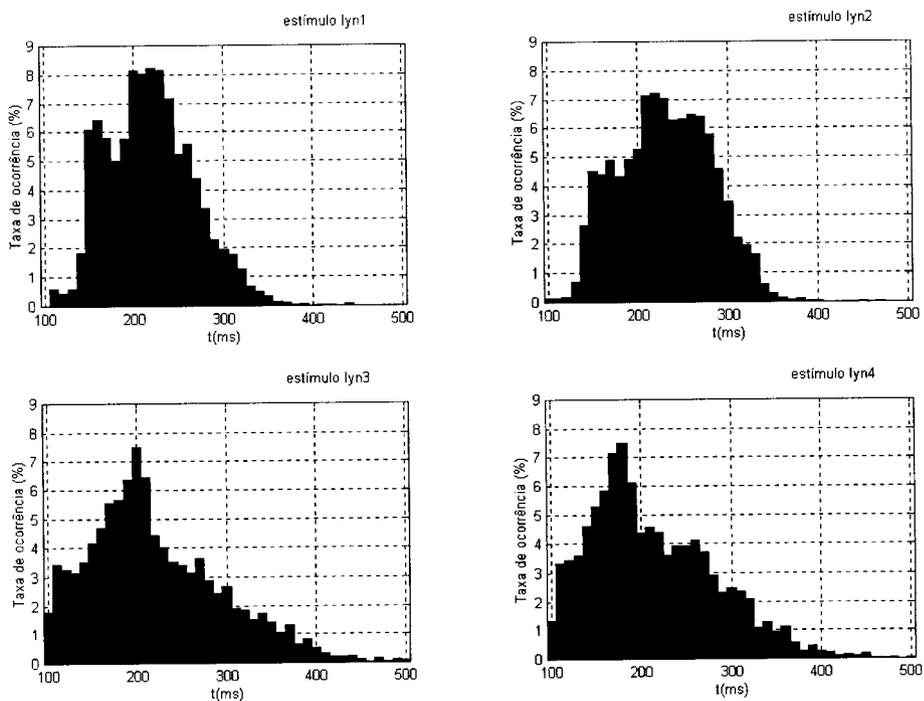


Fig.Ap_C. 3 Histograma médio dos *interbeats* - experimento 3

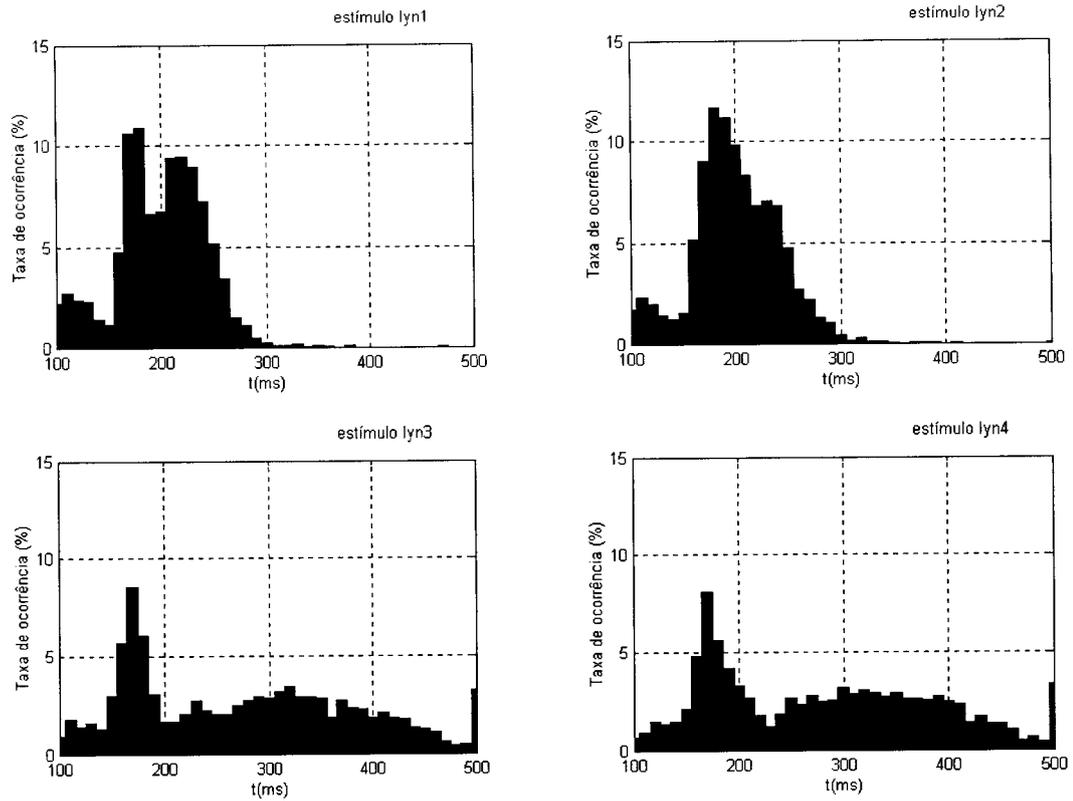


Fig.Ap_C. 4 Histograma médio dos *interbeats* - experimento 4

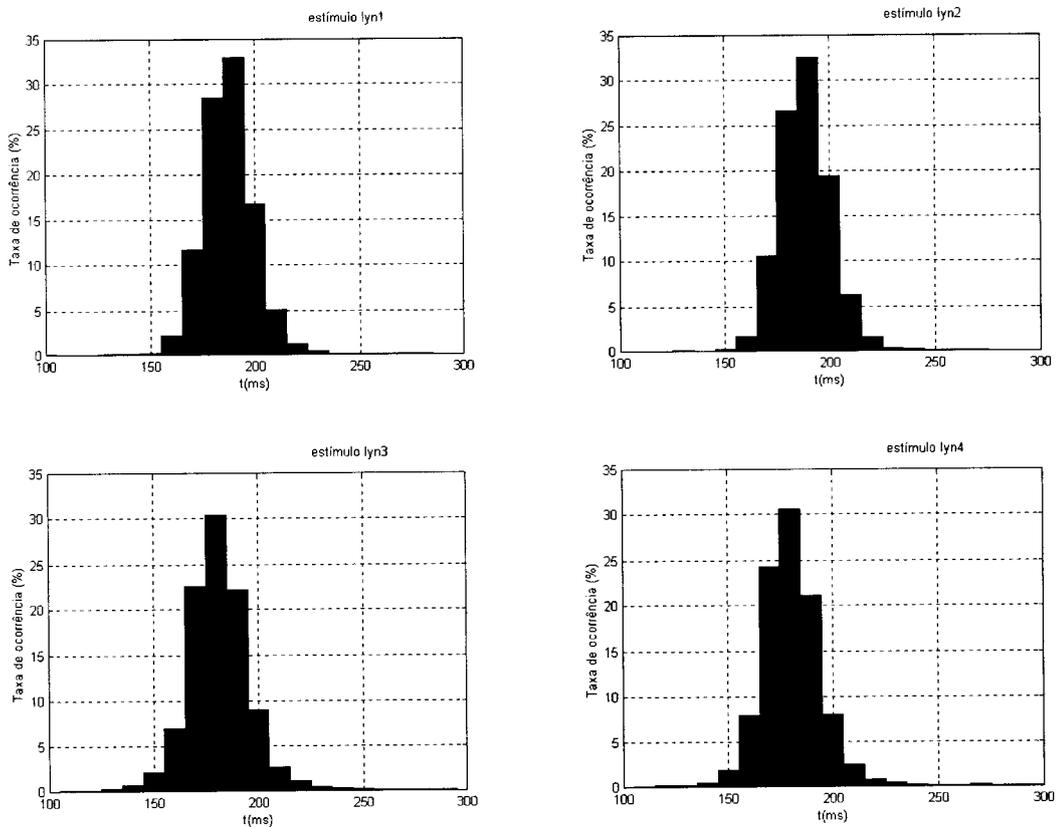


Fig.Ap_C. 5 Histograma médio dos *interbeats* - experimento 5

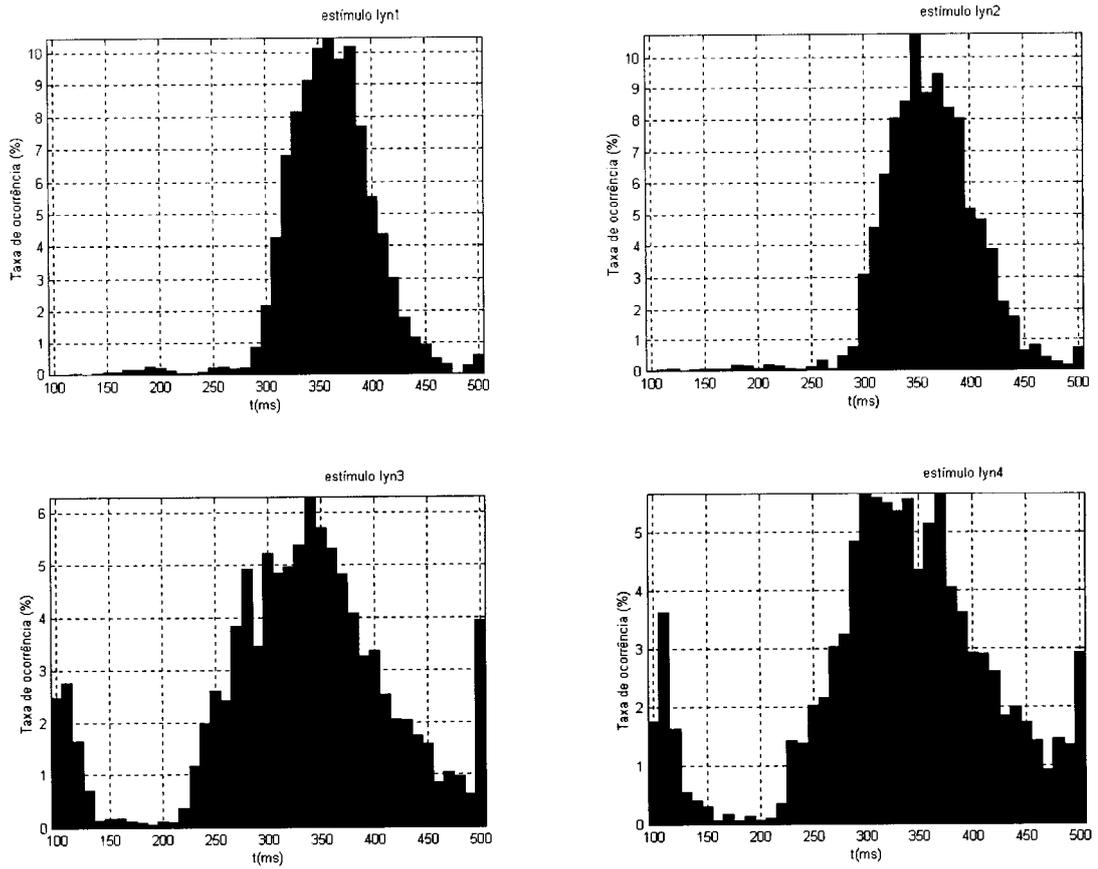


Fig.Ap_C. 6. Histograma médio dos *interbeats* - experimento 6

Parte II: Considerando intervalos de 5s dos 30s de gravação

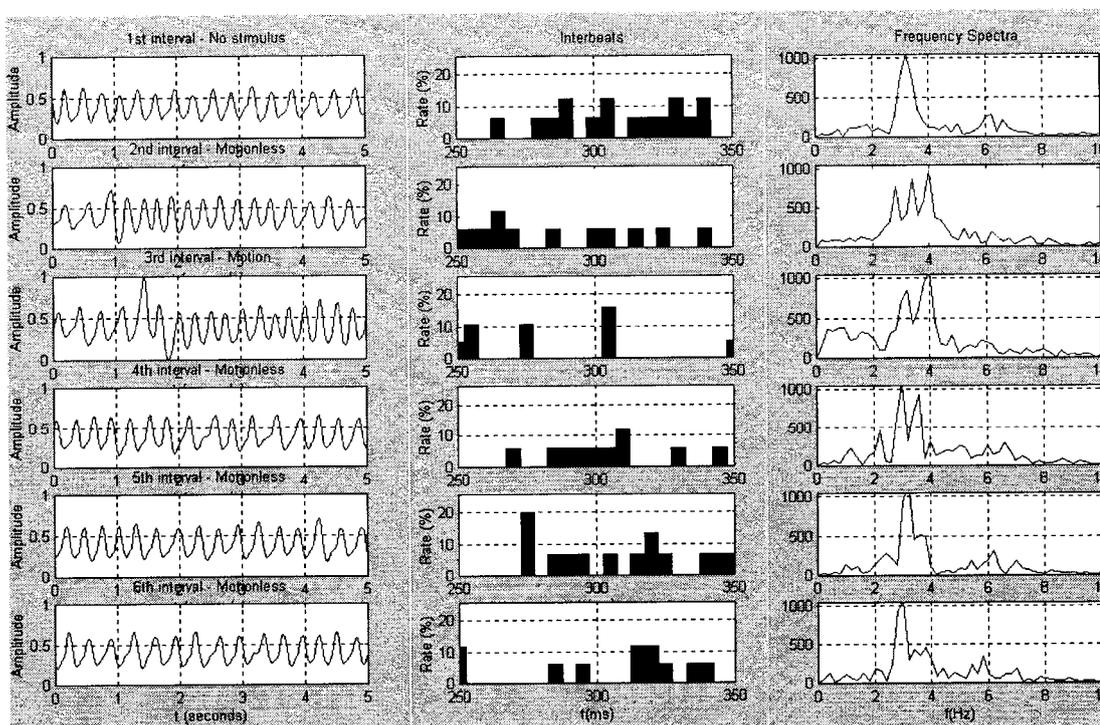


Fig.Ap_C. 7. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo lyn1

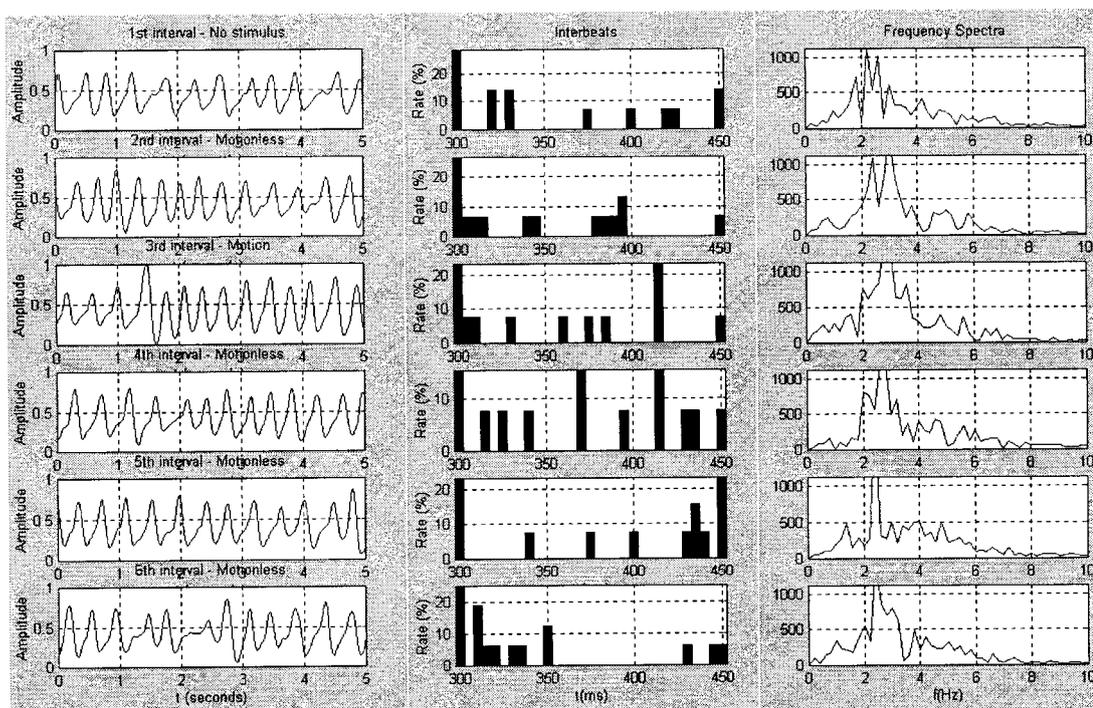


Fig.Ap_C. 8. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo lyn1

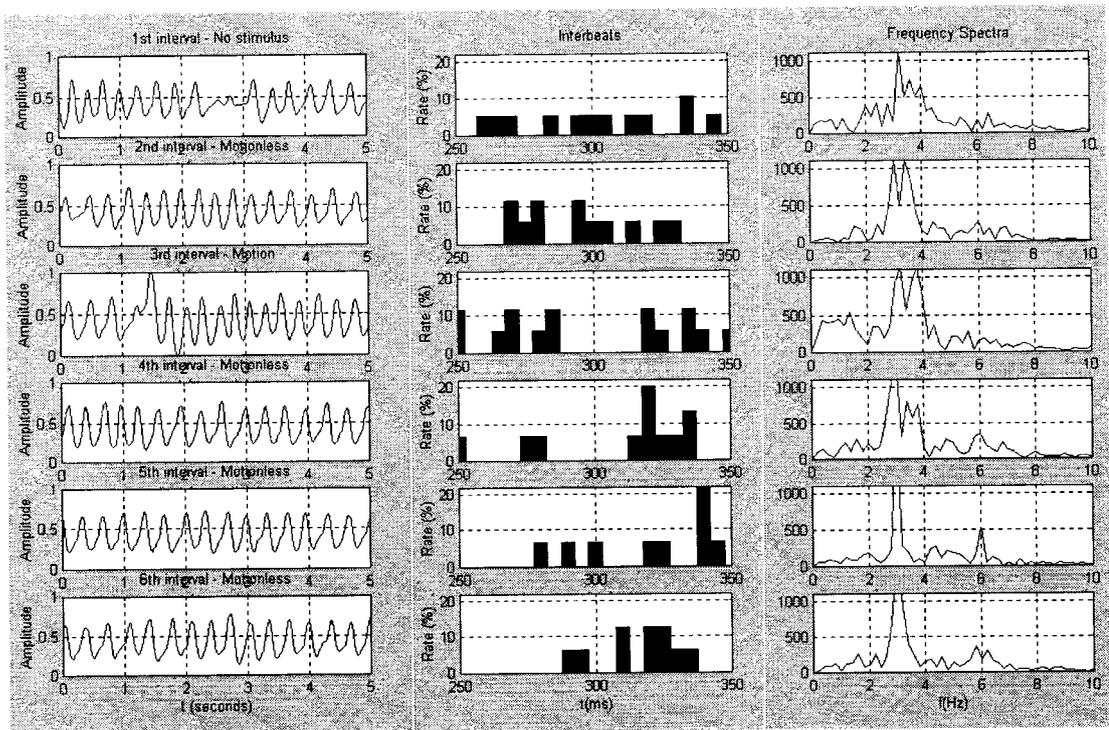


Fig.Ap_C. 9. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo lyn2

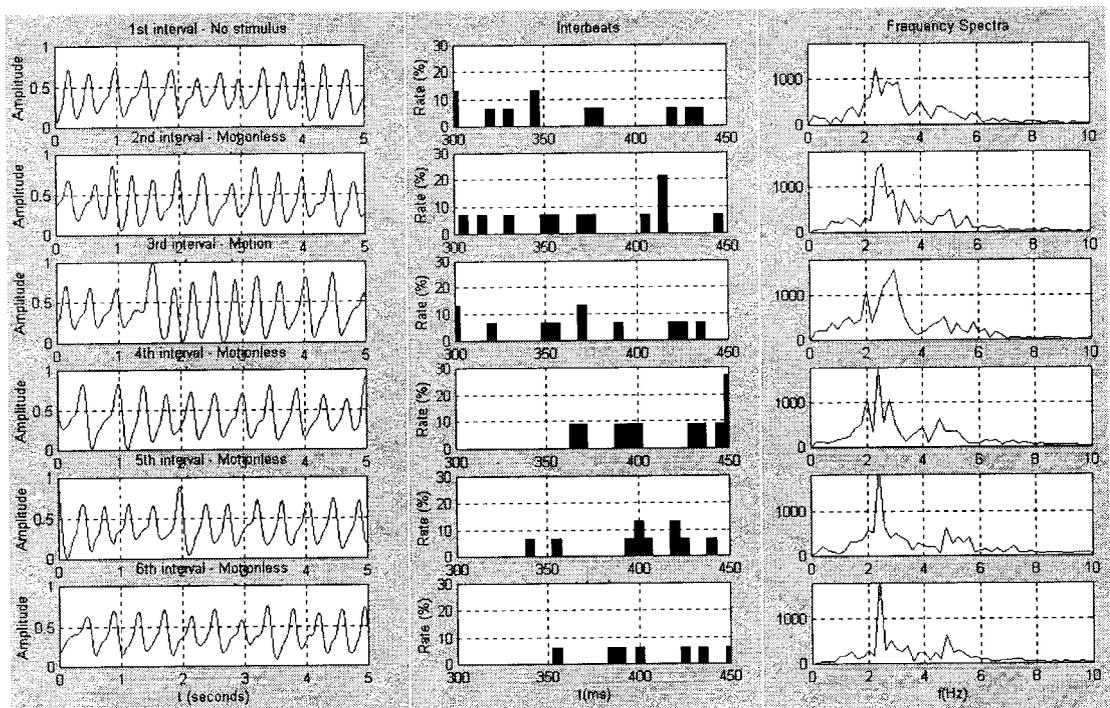


Fig.Ap_C. 10. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo lyn2

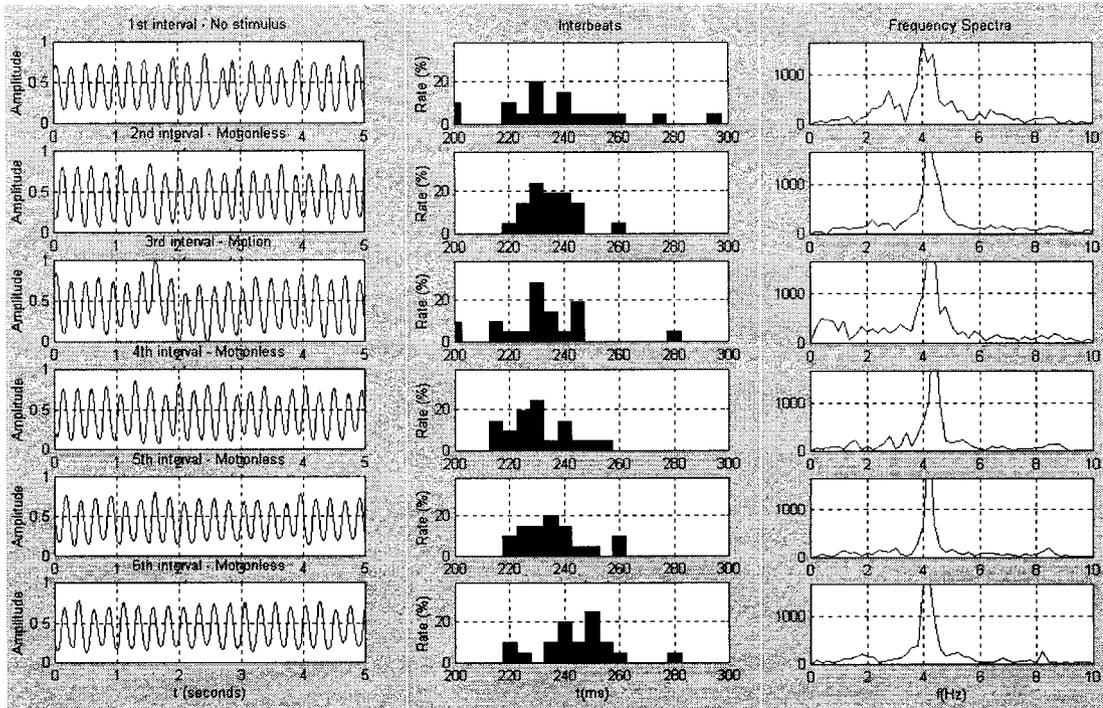


Fig.Ap_C. 11. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo lyn3

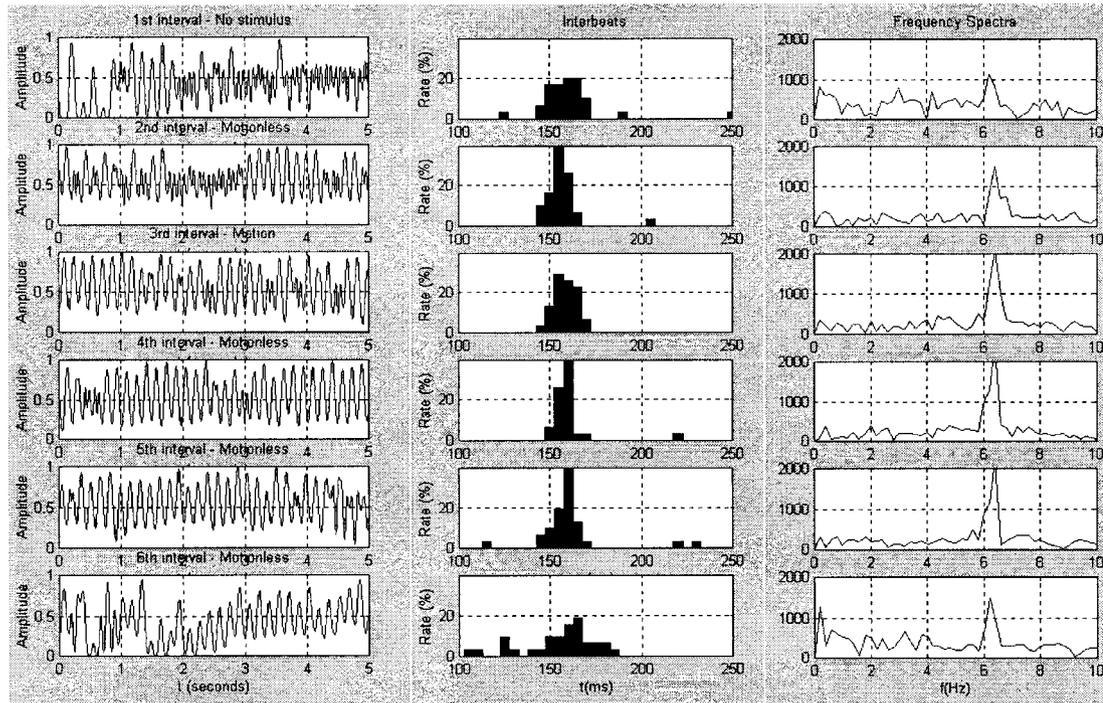


Fig.Ap_C. 12. . Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo lyn3

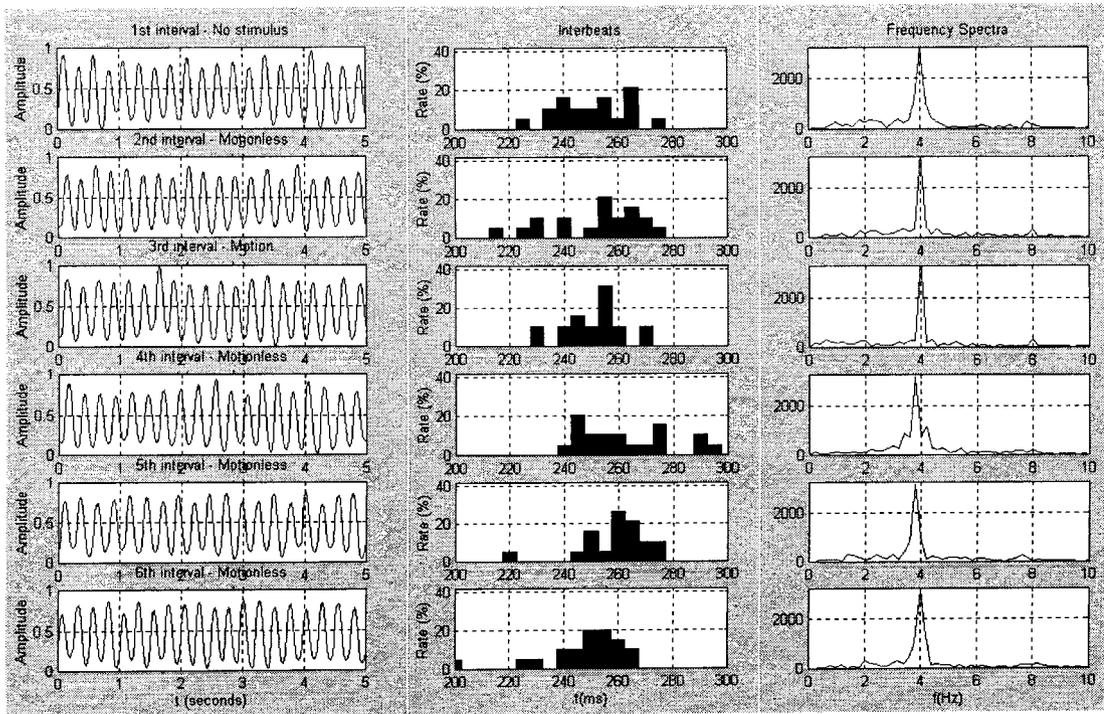


Fig.Ap_C.13. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s do 2º arquivo do Exp 2 - estímulo lyn4

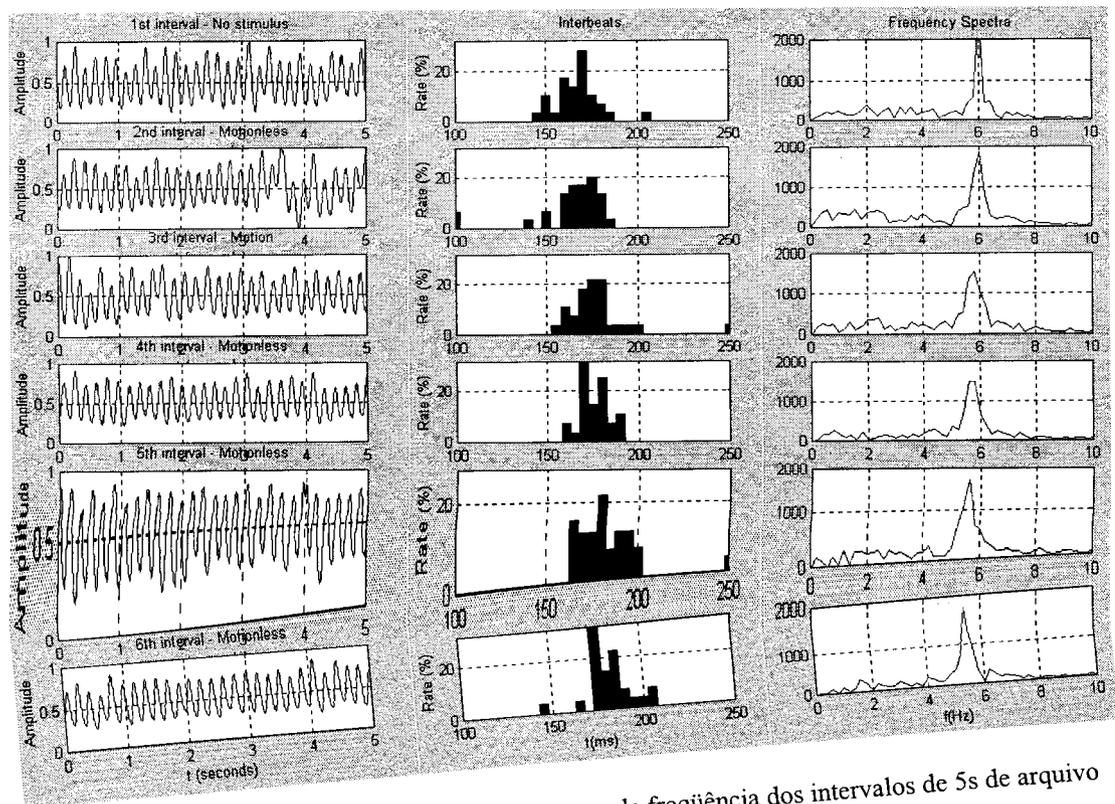


Fig.Ap_C.14. Sinal no tempo, *interbeats* e espectro de frequência dos intervalos de 5s de arquivo gravado após 15 minutos do Exp 2 - estímulo lyn4

Apêndice D – Variação do pico de frequência fundamental de batimento

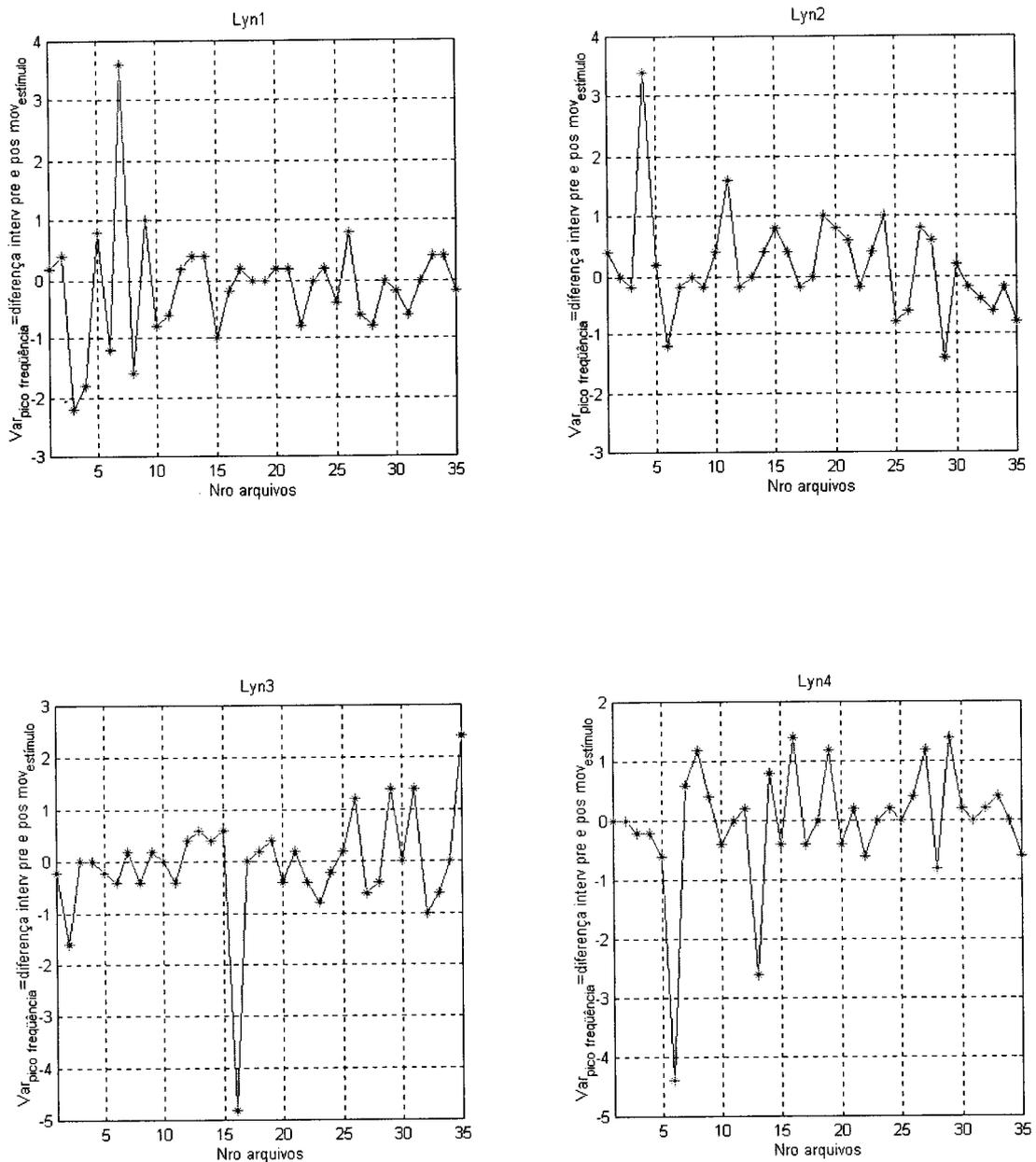


Fig.Ap_D. 1.Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 2, considerando os estímulos da **Fig.3. 14**

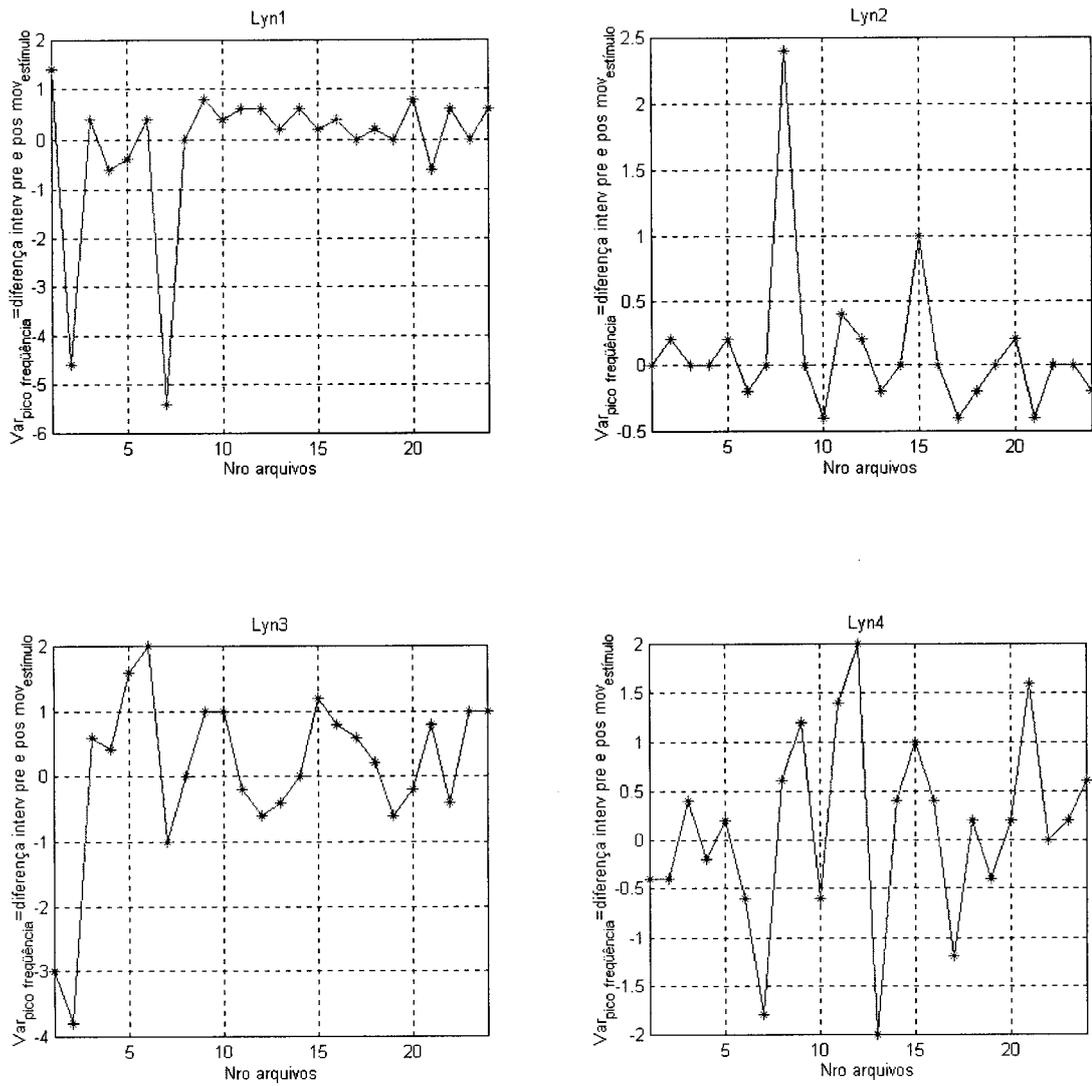


Fig.Ap_D. 2. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 3

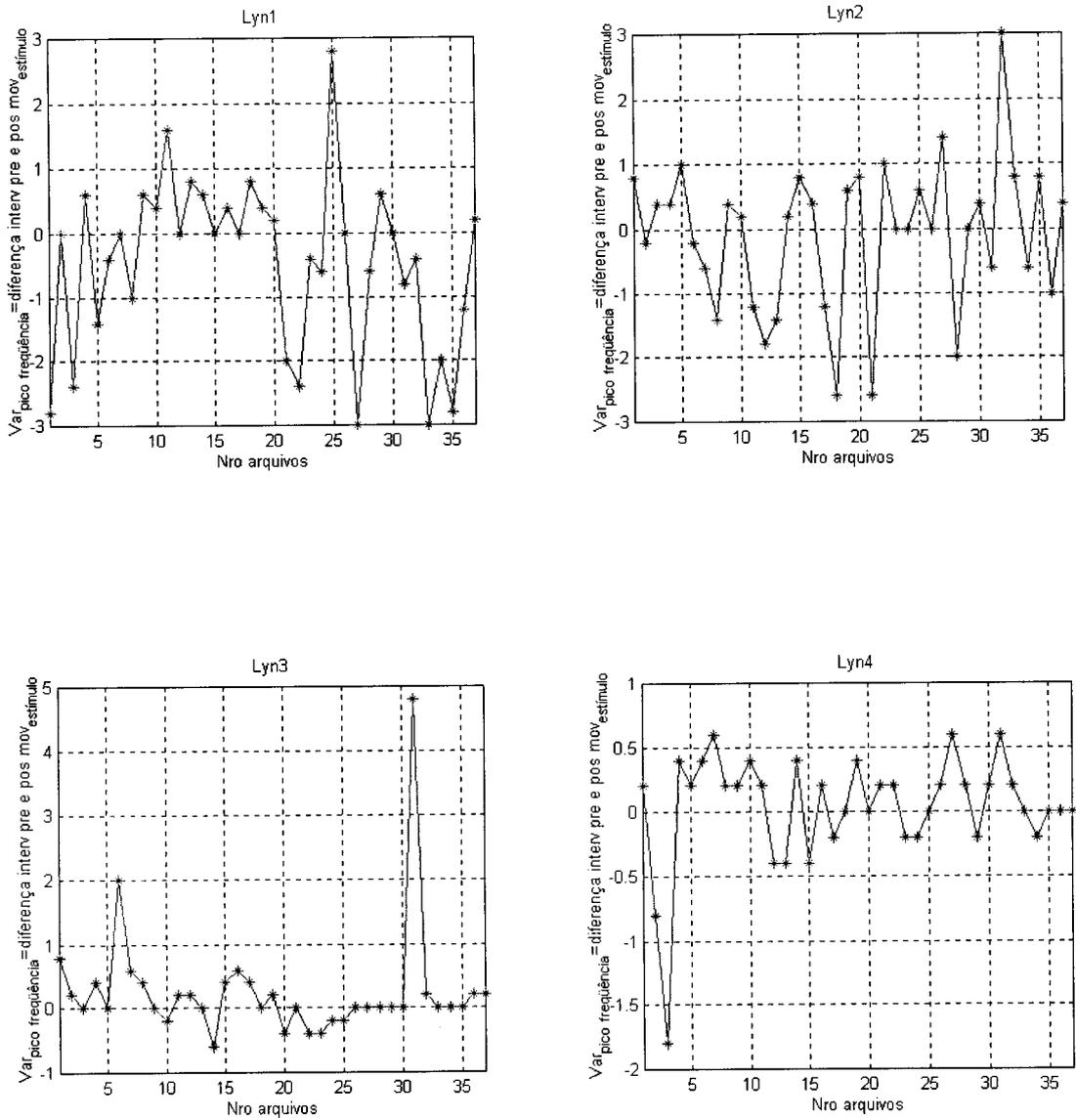


Fig.Ap_D. 3. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 4

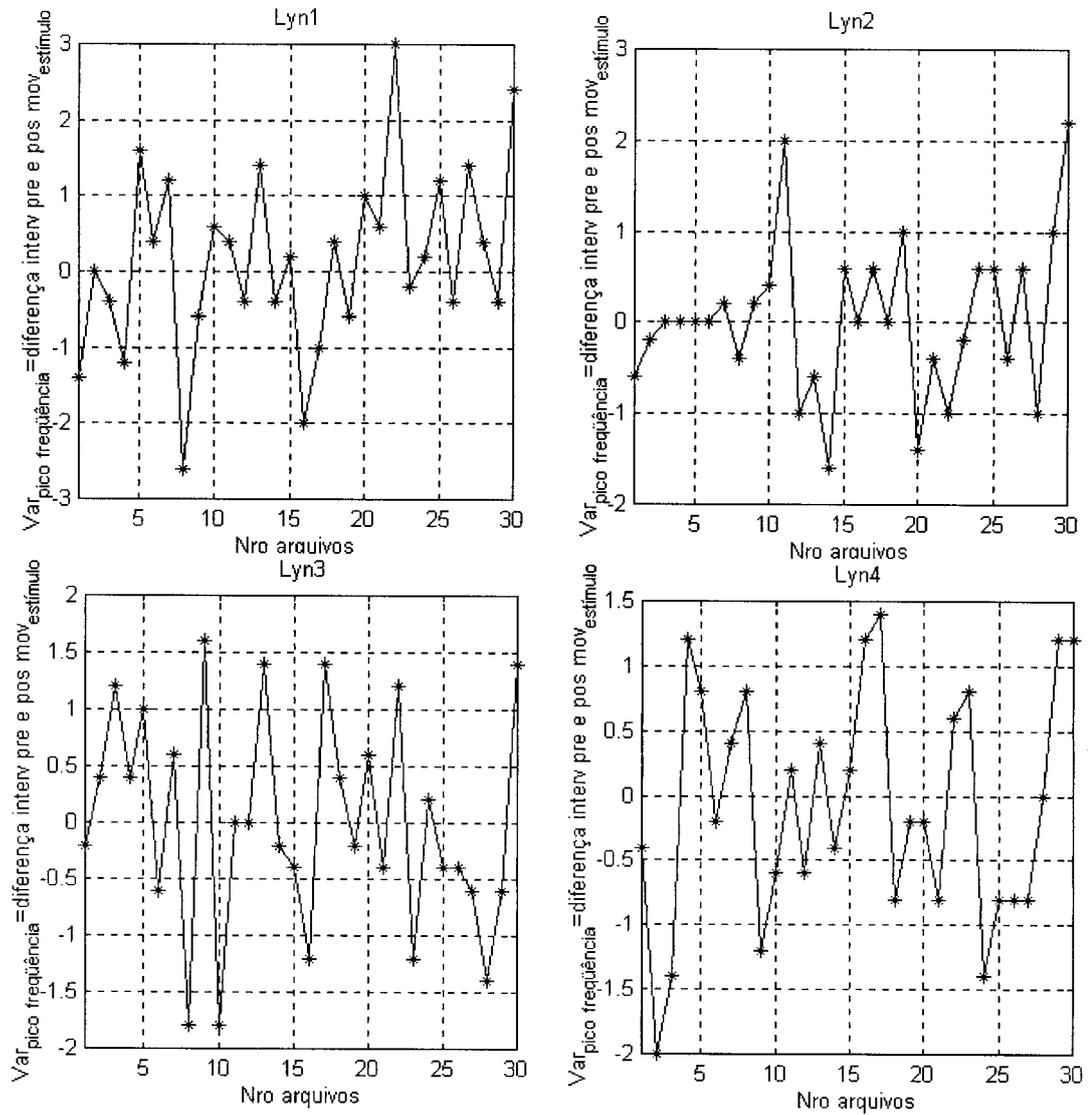


Fig.Ap_D. 4. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 5

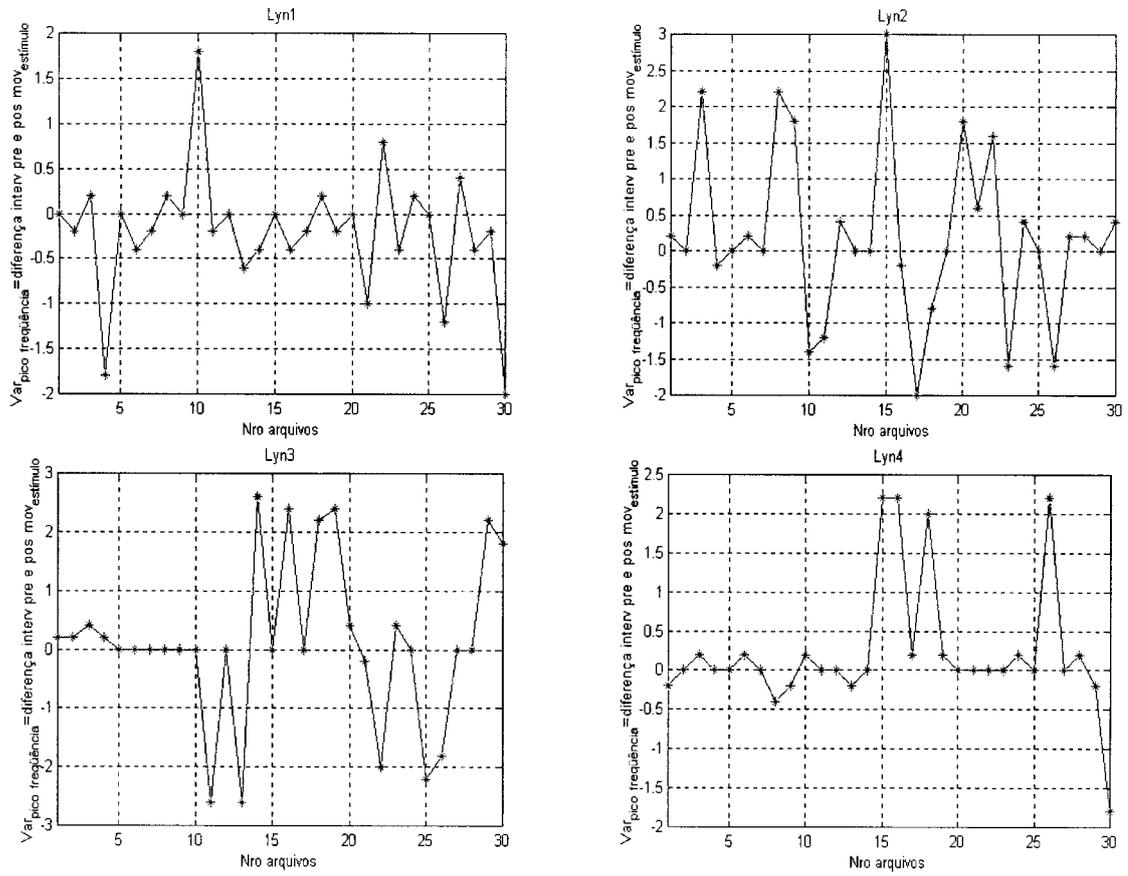


Fig.Ap_D. 5. Diferença entre o pico de frequência do intervalo anterior (f_1) e posterior (f_2) ao movimento da aranha ao longo do experimento 6