

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SILONE FERREIRA DA SILVA

**APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA À
ENGENHARIA BIOMÉDICA: ENSINO EM
NEUROCIÊNCIAS E FERRAMENTA DE APÓIO AO
ESTUDO DA DEGLUTIÇÃO**

Uberlândia, Julho de 2007

Silone Ferreira da Silva

APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA À ENGENHARIA BIO-
MÉDICA: ENSINO EM NEUROCIÊNCIAS E FERRAMENTA DE
APÓIO AO ESTUDO DA DEGLUTIÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador

Prof. Dr. João Batista Destro Filho

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Silva, Silone Ferreira da, 1976-
Aplicações da computação gráfica à engenharia biomédica : ensino em neurociências e ferramenta de apoio ao estudo da deglutição / Silone Ferreira da Silva. - 2007.
114 f. : il.

Orientador: João Batista Destro Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. 1. Engenharia biomédica - Teses. 2. Deglutição - Teses. I. Destro Filho, João Batista. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.
- 2.

CDU: 61:62

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

Silone Ferreira da Silva

APLICAÇÕES DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA À ENGENHARIA BIOMÉDICA: EN-
SINO EM NEUROCIÊNCIAS E FERRAMENTA DE APÓIO AO ESTUDO DA DE-
GLUTIÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 26 de Julho de 2007.

Banca Examinadora:

Prof. Adriano de Oliveira Andrade, PhD. (FEELT-UFU)

Prof. Fábio de Oliveira, Dr. (ICBIM-UFU)

Prof. Henrique Takachi Moriya, Dr. (EPUSP)

Prof. Wellesley Barros Ferreira, Dr. (EAF-UDI)

Prof. Dr. João Batista Destro Filho
FEELT-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**À minha esposa, Ana Paula, aos meus pais,
Francisca e Saluede, as minhas irmãs e à minha sobrinha.
Obrigado pela paciência, colaboração e orações.**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao Senhor da vida, obrigado pai celestial por tantas graças que tens concebido a este teu filho, sem tua luz não teria vislumbrado que um dia as intempéries da jornada iriam findar-se.

À Faculdade de Engenharia Elétrica, em particular ao Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab), pela oportunidade de aperfeiçoamento, em especial ao Biolab pelo fornecimento de todo material técnico utilizado nos trabalhos.

Agradeço ao Prof. Wilson Felipe Pereira (ICBIM/UFU), pela acolhida em seu laboratório, pela utilização dos computadores e, principalmente, pelo constante apoio técnico. Da mesma forma, ao Prof. Fábio de Oliveira (ICBIM/UFU), pela constante motivação e assessoria na parte neurofisiológica, aceitando inclusive fazer parte de minha banca examinadora. Ao Prof. Henrique Takachi Moriya, da EPUSP, por me fazer conhecer a área de videofluoroscopia, bem como pelas discussões técnicas, ajuda através do aparelho de videocassete e pela motivação. À Dra Patricia Portela Flores, pela sempre confiança, amizade e, principalmente, a parceria de pesquisa, viabilizando e conduzindo o estudo clínico.

Sou muito grato aos Profs. Keiji Yamanaka (FEELT/UFU), pelo apoio no acesso à Pós-Graduação; bem como à Wellesley Barros Ferreira, através de orientações, assessoria técnica, fornecimento de materiais de pesquisa, e em particular, por sua participação em minha banca de avaliação.

À todos os meus amigos e colegas estudantes de pós-graduação e de graduação, que muito me ajudaram nos trabalhos realizados, em especial à: Samuel, Danilo, Daniel, Eduardo, Ana Paula, Luciano Coutinho.

À banca examinadora desta dissertação, particularmente aos Professores: Adriano de Oliveira Andrade (FEELT/UFU), pelas discussões regulares e críticas; e Henrique Takachi Moriya, pela disponibilidade em viajar e importantes observações técnicas.

Ao Hospital de Clínicas de Uberlândia pelos exames efetuados.

Ao meu orientador Professor João Batista Destro pela atenção e acompanhamento constante das atividades em desenvolvimento, pela orientação, direção e solicitude sempre presentes.

À Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia pela liberação parcial, apoio técnico e compreensão nos períodos de ausência.

À União, que pelo serviço público federal propiciou os meus estudos.

Aos colegas do Biolab pelo convívio harmonioso e respeitador.

Aos meus pais pelos princípios morais que sempre me passaram e pelo incentivo durante todos os estudos/trabalhos realizados.

À minha esposa pelo apoio constante, por toda colaboração nas correções, pesquisas, revisões e compreensão das dificuldades enfrentadas por mim, bem como minhas ausências e mau humor.

Em suma, gostaria de agradecer por todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com o meu trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	13
2 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA SOBRE EDUCAÇÃO INTERDISCIPLINAR EM NEUROCIÊNCIAS.....	17
2.1 NEUROFISIOLOGIA CELULAR.....	17
2.2 NEUROANATOMIA.....	18
2.3 CONCLUSÕES.....	20
3 CONTRIBUIÇÕES AO ENSINO INTERDISCIPLINAR DE NEUROCIÊNCIAS...	22
3.1 O NEURÔNIO TRIDIMENSIONAL.....	22
3.1.1 Metodologia.....	22
3.1.2 Resultados e Discussão.....	24
3.2 ATLAS NEUROANATÔMICO.....	27
3.2.1 Linguagem Orientada a Objeto.....	27
3.2.2 Fundamentos de Projeto.....	28
3.2.3 Fundamentos de Reconstrução Tridimensional.....	30
3.2.4 Fundamentos de visualização/renderização e o sistema VTK.....	35
3.2.5 RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL APLICADA AO CÉREBRO.....	37
3.2.6 IMPLEMENTAÇÃO DE UM ATLAS NEUROANATÔMICO BIDIMENSIONAL.....	41
3.2.6.1 Estruturas Cerebrais	43
3.2.6.2 Os Cortes da Estrutura Cerebral	45
3.2.7 Conclusão.....	47
3.3 CONCLUSÃO GERAL	48
4 FERRAMENTA DE APOIO AO ESTUDO DA DEGLUTIÇÃO.....	50
4.1 A DEGLUTIÇÃO.....	51
4.1.1 Morfofisiologia da Deglutição.....	51
4.1.2 Fisiopatologias.....	58
4.1.2.1 Incidência.....	59
4.1.3 Videofluoroscopia da deglutição.....	60
4.1.4 Informática para deglutição.....	62
4.1.5 Proposta de trabalho.....	65
4.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	65

4.2.1 Escolha dos programas conversores.....	66
4.2.2 Protótipo da Plataforma.....	74
4.2.2.1 Aspectos Específicos	74
4.2.2.1.1 Metodologia.....	74
4.2.2.2 Aspectos Gerais do funcionamento do protótipo.....	76
4.2.2.3 Sistemática de uso.....	77
4.3 APLICAÇÃO DA PLATAFORMA À VIDEOFLUOROSCOPIA.....	82
4.3.1 Introdução.....	82
4.3.2 Objetivos do experimento.....	82
4.3.3 Metodologia e Protocolo.....	83
4.3.3.1 Processamento Computacional.....	83
4.3.3.2 Em Humanos.....	83
4.3.3.3 Tratamento dos dados.....	85
4.3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4.4 CONCLUSÕES.....	90
5 CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	92
Referências.....	95
APÊNDICE A	102
APÊNDICE B.....	107
APÊNDICE C.....	112
APÊNDICE D.....	114
APÊNDICE E.....	116
APÊNDICE F.....	118

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama do Contexto.....	23
Figura 2 - Diagrama de Transição de Estados.....	24
Figura 3 - Neurônio completo, visão frontal.....	24
Figura 4 - Estrutura Nuclear, vista superior.....	25
Figura 5 - Transporte de íons, visão frontal com aproximação (zoom).....	25
Figura 6 - Citoplasma e Mitocôndrias, visão lateral oblíqua, após rotação, translação e aproximação (zoom).....	26
Figura 7 – Modelagem classe animais.....	30
Figura 8 – Potência de um feixe de luz versus comprimento de onda.....	31
Figura 9 – Absorção devido ao comprimento de faixa de onda.....	31
Figura 10 – Representação circular das tonalidades.....	33
Figura 11 - Atributos da Câmera.....	34
Figura 12 - Diagrama do Contexto.....	38
Figura 13 - Diagrama de Transição de Estados.....	38
Figura 14 - Vista Superior do Cérebro.....	39
Figura 15 - Vista Lateral do Cérebro.....	40
Figura 16 - Medula Espinhal.....	42
Figura 17 - Telencéfalo.....	43
Figura 18 - Estruturas da Fase Oral – Adaptado do Laboratório de Motilidade Digestiva - Imagem do Depto. de Anatomia da UFRJ.....	52
Figura 19 - Sistema Nervoso Periférico.....	53
Figura 20 - Estruturas da fase faríngea e esofágica – Adaptado do Laboratório de Motilidade Digestiva - Imagem do Depto. de Anatomia da UFRJ.....	55
Figura 21 - Esquema das cavidades respiratória e digestiva na cabeça e no pescoço.....	56
Figura 22 – Imagem obtida pela videofluoroscopia.....	61
Figura 23 - Aparelho de Videofluoroscopia.....	61
Figura 24 - Gráfico ideal na conversão de formato.....	67
Figura 25 - OM x Tempo – Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI.....	69
Figura 26 - Tamanho do Arquivo Final x Tamanho do Arquivo Inicial – Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI.....	70
Figura 27 - Ocupação de memória x tempo – Software: VirtualDub e Zwei-Stein.....	72

Figura 28 - Tamanho do Arquivo Final x Tamanho do Arquivo Inicial na eliminação do canal de áudio – Software: VirtualDub e Zwei-Stein.....	73
Figura 29 - Diagrama do Contexto.....	75
Figura 30 - Diagrama de Transição de Estados.....	75
Figura 31 - Tela do SPVAD.....	77
Figura 32 - Tela inicial do SPVAD.....	80
Figura 33 - Tela seleção inicial do SPVAD.....	81
Figura 34 - Tela seleção final do SPVAD.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Síntese dos principais materiais multimídia para a educação em neuroanatomia.....	19
Tabela 2 - Conversão entre os formatos RGB e HSV (SCHROEDER et al., 1996).....	33
Tabela 3 - Esquema de função dos doze pares de nervos cranianos relativos à Figura 19.	54
Tabela 4 - Artigos com técnicas e software de análise da deglutição.....	63
Tabela 5 - Ocupação de Memória x Tempo de Processamento – Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI. Vide Figura 25.....	68
Tabela 6 - Tamanho de Arquivo Inicial x Final - Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI. Vide Figura 26.....	69
Tabela 7 - Ocupação de Memória x Tempo de Processamento – Software: VirtualDub e Zwei-Stein. Vide Figura 27.....	71
Tabela 8 - Tamanho de Arquivo Inicial x Final - Software: VirtualDub e Zwei-Stein...	72
Tabela 9 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição, informe geral com e sem fracionamentos ao longo de todos os exames.....	86
Tabela 10 - Intervalo de tempo de deglutição por fase sem e com fracionamento.....	87
Tabela 11 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição SEM a ocorrência de fracionamentos.....	87
Tabela 12 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição com médias onde se tem fracionamentos.....	88

Lista de Abreviaturas

AP	Anterior-Posterior
AVC	Acidente Vascular Encefálico
AVI	<i>Audio Video Interleave</i>
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
DLL	<i>Dynamic link library</i>
EAF-UDI	Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia
EES	Esfíncter Esofágico Superior
FEELT	Faculdade de Engenharia Elétrica
FEES	<i>Fiberoptic Endoscopic Evaluation of Swallowing</i>
FF	Fase Faríngea
FO	Fase Oral
HSV	<i>Hue Saturation Value</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
ICBIM	Instituto de Ciências Biomédicas
LA	Incidência Lateral
MB	<i>Megabytes</i>
nm	Nanômetros
OM	Ocupação de Memória
OMT	<i>Object Modeling Technique</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
RGB	<i>Red Green Blue</i>
SNC	Sistema Nervoso Central
SPVAD	Sistema Protótipo de Vídeo-Análise da Deglutição
TP	Tempo de Processamento
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VFD	Videofluoroscopia
VOB	<i>Video OBjects</i>
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
VTK	<i>Visualization Toolkit</i>

RESUMO

Aplica-se nesta dissertação a computação gráfica a duas áreas relevantes da Engenharia Biomédica. Inicialmente, para propiciar novos instrumentos voltados à educação interdisciplinar em Neurociências, apresenta-se uma plataforma VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) interativa que representa tridimensionalmente o neurônio e suas principais organelas, propiciando enfoques globais da célula e particulares de suas microestruturas. Discutem-se aspectos ligados à reconstrução tridimensional de estruturas neuroanômicas a partir de fotos tomadas de peças reais, levando à implementação de um atlas bidimensional, que alia a neuroanatomia à prática clínica. Posteriormente, objetivou-se desenvolver um sistema para a contagem precisa e rápida dos intervalos de tempos associados às diversas fases da deglutição, baseado em imagens videofluoroscópicas. O sistema realiza pré-processamento através da conversão de formato de arquivos, seguido de análise de imagens, o que foi validado através de um experimento clínico, permitindo assim refletir a definição de um “padrão de normalidade em deglutição”, em termos dos valores médios do intervalo de tempo de deglutição. Tal sistema se mostrou viável, simples, flexível, sem a necessidade de *hardware/software* específicos, possibilitando inclusive detalhar o fracionamento ou não do bolo alimentar.

Palavras-chave: Educação interdisciplinar. Plataforma VRML. Videofluoroscopia. Análise de imagens.

ABSTRACT

This thesis applies computer graphics to two important fields of Biomedical Engineering. Firstly, in order to provide new *software* for interdisciplinary education, an interactive Virtual-based platform was developed, presenting a tridimensional visualization of the neuron and of its major microstructures. Such platform enables an overall view of the neural cell, including particular details in a microcellular level. Several issues regarding the tridimensional reconstruction of neuroanatomical structures based on photos taken from real-life tissues are discussed, leading to the implementation of a bidimensional atlas, that establishes connections between neuroanatomy and the clinical practice. Secondly, a system for the efficient and accurate estimation of the time intervals associated with swallow phases was developed, supposing videofluoroscopic images as inputs. The system performs pre-processing of such images by means of file conversions, followed by image analysis, that leads to the final estimation. A clinical experiment was carried out in order to validate the platform, yielding (allowing) a preliminar proposition for a “normal pattern of swallow”, which is based on the average-estimated swallow times. Results pointed out that the system may be considered, flexible, requiring simple *hardware/software* configurations, and also providing details on fractioning.

Keywords: Inderdisciplinary education. VRML Platform. Videofluoroscopy. Image analysis.

1 INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

Segundo Filgueiras et al. (1997), a computação gráfica é um conjunto de métodos e técnicas para conversão de dados para dispositivos gráficos, através de computador, adotada pela International Standard Organization (ISO). Por conseguinte, o autor classifica também a computação gráfica como elemento de tratamento de dados como sendo "a síntese, a análise e o processamento de imagem".

O processamento digital de imagens (sub-área da computação gráfica) é atualmente utilizado em classificação de padrões, reconhecimento biométrico, análise de dados obtidos por sensoriamento remoto e, particularmente, na Engenharia Biomédica, à filtragem de imagens médicas para eliminação de ruído ou diagnóstico. Vale destacar aqui o importante papel desempenhado pelo processamento digital de imagens no contexto da Neurologia, em termos da análise de dados oriundos dos diversos exames radiológicos (raio X, tomografias, ressonâncias).

A Neurociência consiste numa área de pesquisa muito vasta, englobando diversos níveis de modelamento biológico: o molecular; em termos de neuroquímica de genes e neurotransmissores; o celular, em termos de canais iônicos e neurotransmissão; o mesoscópico, em termos de grupos de neurônios ou gânglios; o sistêmico, em termos de feixes nervosos; e, finalmente, o neurológico, em termos cognitivos e corticais. Embora cada um desses níveis, por si só, represente um oceano de informação, buscase, na medida do possível, estabelecer conexões entre níveis adjacentes. Esta dissertação se situa nos níveis celular e sistêmico.

No processo de ensino e aprendizagem muito se tem trabalhado na busca constante de melhores formas de permitir ao indivíduo a possibilidade de crescimento intelectual e emocional, numa tentativa de melhoria da qualidade de vida e abertura de novos horizontes para crianças e jovens.

A educação tradicional já não suporta mais a dinâmica e a velocidade com que as informações chegam às pessoas em todo o mundo. O sistema onde o professor é o detentor do conhecimento e transmite-o aos seus alunos, possuindo total poder sobre seus futuros, já não atende às necessidades de aprendizagem. De fato, esta assertiva encontra consonância com o panorama atual da Neurociência, em que, conforme discutido anteriormente, cada vez mais informação é gerada em diferentes níveis biológicos ao mesmo tempo.

O conhecimento aprofundado em Biofísica, em particular nos processos de neurotransmissão, é fundamental para romper barreiras da área médica, como por exemplo o desenvolvimento de terapêuticas voltadas para dor, distrofia e doenças autoimunes. Segundo (Berger et al., 2001), as futuras terapias podem ser baseadas em engenharia neural (como os neuroimplantes), síntese de fármacos mais eficientes (para minimizar efeitos colaterais), terapia celular, etc. Isso exige trabalhos interdisciplinares, como o projeto Genoma, a Neuroinformática e a Biologia Sistêmica (BARDAKJIAN, 2003).

Dada a grande disponibilidade de informação provida pela *Internet* e repositórios de dados remotos, as imagens adquirem cada vez mais importância na pedagogia atual. De fato, para os desafios lançados nos parágrafos anteriores em termos de ensino interdisciplinar de Neurociências, considerando-se a possibilidade de integração de conceitos de diversos níveis biológicos, as imagens desempenham um papel fundamental.

Com estes objetivos em mente, esta dissertação inicialmente desenvolveu ferramentas computacionais pedagógicas, enfocando uma representação tridimensional do neurônio e a implementação de um atlas neuroanatômico, complementando e melhorando os materiais didáticos já existentes.

A partir da experiência desenvolvida em termos de pedagogia interdisciplinar, o contato com diversas linguagens computacionais e técnicas de processamento de imagens foi redirecionado para uma aplicação clínica precisa, indiretamente associada ao sistema nervoso humano.

A deglutição, complexo mecanismo neuromotor, permite a alimentação, o escoamento do fluido salivar e também a drenagem do produto obtido pela ação de mecanismos protetores da árvore brônquica, evitando a penetração de fluidos e alimentos no trato respiratório. Assume, portanto, papel importante nos processos respiratório e digestório (DOUGLAS; DOUGLAS, 2004; MACEDO, 2003; MACEDO, 2004).

Na abordagem de pacientes com sintomas respiratórios decorrentes da aspiração preconiza-se o estudo da deglutição para diagnosticar a penetração laríngea. Este estudo, realizado por videofluoroscopia, pode, objetivamente, de maneira não-invasiva e com baixa radiação (muito inferior àquela de um Raio X rotineiro), observar de forma dinâmica o processo da deglutição nas fases oral, faríngea e esofágica. Este exame tem

sido usado nos distúrbios da deglutição, para diagnóstico e orientação do tratamento (COSTA; MONTEIRO, 2003; KOCK, 1998; COSTA et al., 1992; COSTA et al., 2003).

Apesar de encontrar-se na literatura especializada referências sobre a importância do intervalo de tempo do escoamento do bolo alimentar, decorrente de sua fluidez, nas fases oral e faríngea, não se tem de forma simples e prática um sistema de contagem precisa desses intervalos de tempos. A utilização de um *software* com esta finalidade seria, para a área da pesquisa médica, uma forma prática e precisa e de elevada relevância, uma vez que pouparia o enorme esforço gasto na separação das imagens no processo da videofluoroscopia, bem como permitiria obter medidas exatas dos intervalos de tempos gastos no processo de deglutição.

A segunda parte desta dissertação aborda o desafio levantado no parágrafo anterior.

A dissertação está estruturada da seguinte forma.

O Capítulo 2 discute elementos importantes no que se refere à educação interdisciplinar em neurociências, no contexto celular (Biofísica) e sistêmico (Neuroanatomia). Discutem-se os principais desafios e apresentam-se algumas propostas já existentes, que apresentam duas desvantagens principais: representações estáticas e bidimensionais, em termos da Biofísica; e informações essencialmente neuroanatômicas, desconectadas da prática clínica, em termos sistêmicos.

Estas limitações são tratadas no Capítulo 3, que propõe uma plataforma interativa tridimensional representativa do neurônio, de suas organelas e de alguns processos biofísicos. A segunda parte do capítulo buscou desenvolver um *software* com as imagens do cérebro humano (Atlas Neuroanatômico), baseado em fotos de peças reais.

Após o desenvolvimento de todos estes assuntos, o trabalho com a computação gráfica foi redirecionado com objetivos clínicos, no que concerne a proposição de uma plataforma para contagem dos intervalos de tempos da deglutição a partir de seqüências de imagens videofluoroscópicas. O Capítulo 4 se inicia com uma revisão de conceitos básicos sobre o sistema de deglutição, suas relações com o sistema nervoso e respiratório, bem como seus principais métodos de diagnósticos. O capítulo discute o desenvolvimento da plataforma informática, que necessitou de duas etapas (pré-processamento através da conversão de formato de arquivos, e processamento de imagens para contagem dos intervalos de tempos); bem como de um experimento clínico realizado para validar o sistema.

As principais contribuições desta dissertação estão resumidas logo abaixo:

* A proposição de uma plataforma VRML para a representação tridimensional do neurônio, que possibilita pontos de vistas diferentes, incluindo uma visão geral da estrutura inteira do neurônio, detalhes específicos das microestruturas, como dendritos e canais iônicos. A plataforma é de baixo custo e inclui a possibilidade de conexão para programas em *html* (*HyperText Markup Language* ou Linguagem de Marcação de Hipertexto). Além disso, requer uma configuração padrão de computador;

* Implementação de um atlas bidimensional cerebral, contendo uma ampla variedade de estruturas e o detalhamento da funcionalidade das mesmas, em termos de fotografias bidimensionais de peças reais. O conteúdo teórico foi associado à clínica;

* O desenvolvimento do Sistema Protótipo de Vídeo-Análise da Deglutição, que se vale de uma plataforma ao mesmo tempo comum e genérica (flexível), capaz de medir de forma simples, objetiva e exata os intervalos de tempos das fases da deglutição (oral, faríngea e esofágica), economizando acentuado esforço manual na separação das imagens fornecidas pela videofluoroscopia;

* A tentativa de caracterização de um padrão “normal de deglutição”, através da estimação dos diversos intervalos de tempos da deglutição a partir de um experimento clínico realizado com indivíduos normais.

2 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA SOBRE EDUCAÇÃO INTERDISCIPLINAR EM NEUROCIÊNCIAS

O objetivo deste capítulo é propiciar elementos para nortear o pesquisador que deseja salientar a educação interdisciplinar em neurociências. Discutem-se os principais desafios e algumas propostas já existentes no que se refere a dois níveis biológicos: a Neurofisiologia celular e a neuroanatomia.

2.1 NEUROFISIOLOGIA CELULAR

O estudo da mente e suas bases biológicas é um dos maiores esforços científicos de todos os tempos. Ele é a chave para o entendimento definitivo da natureza dos seres humanos. Entretanto, a fina complexidade do sistema nervoso e as diversas barreiras metodológicas que existem neste campo para o estudo objetivo de sua estrutura e função requerem uma colaboração extensa entre muitas disciplinas científicas (SABBATINI; CARDOSO, 2006). O processo pedagógico é complexo e amplo, sendo necessárias aproximações específicas para cada tipo de informação que se deseja transmitir (MORAN, 2006).

O conteúdo programático da disciplina de Neurociências é extenso, esta associado a diversos níveis biológicos e requer o aprendizado detalhado de diversos tópicos, destacando-se a Neurofisiologia e a Biofísica; e, em nível cerebral, a Neurologia. Sob este enfoque, dois tópicos principais devem ser focados por qualquer estratégia de ensino interdisciplinar: as microestruturas neurológicas, que interagem na forma complexa de gânglios ou agrupamentos de neurônios; e a dinâmica dos fenômenos eletroquímicos das células neurais ou gliais (KANDEL; SHWARTZ; JESSEL, 2000).

Figuras estáticas correspondem a um dos principais instrumentos utilizadas na educação em Neurociências, quase sempre representadas bi-dimensionalmente (BOEREE, 2006; JONES, 2006; VILELA, 2006). Deve-se destacar também as animações bi-dimensionais, as quais permitem demonstrações da cadeia de fenômenos (ou processos) neurofisiológicos, ou seja, das atividades vitais ligadas à fisiologia do sistema nervoso (ANNENBERG MEDIA LEARNER, 2006; NORTH HARRIS COLLEGE BIOLOGY DEPARTMENT, 2006).

Associar a cadeia de tais fenômenos a uma representação fiel da complexa geometria neural consiste em um dos principais desafios das atuais representações bi-

dimensionais, possibilitando assim a visualização detalhada da real estrutura morfológica. Isto dificulta bastante o processo de aprendizagem, de forma que o estudante não consegue formar uma imagem clara da disposição dos aparatos neurais e de seu correto funcionamento fisiológico, onde o termo '*aparato*' significa um elemento específico do sistema nervoso. Conseqüentemente, deve-se propiciar uma visualização que conjugue a cadeia de fenômenos à precisa localização das microestruturas.

Em resumo, deseja-se uma representação dinâmica e tridimensional do neurônio, incluindo os seus componentes básicos, o que facilita a compreensão da Neurofisiologia, em particular durante a neurotransmissão. Esta estratégia possibilita ainda a construção de uma imagem morfológica de um neurônio clássico e a distribuição de seus componentes ao longo de sua estrutura.

2.2 NEUROANATOMIA

A Anatomia é uma das Ciências básicas para o ensino de Medicina, das demais ciências ligadas à área biomédica, bem como da própria Engenharia Biomédica. Atualmente, o tempo e os recursos são bastante escassos, o que dificulta o processo de aprendizagem de tal disciplina. Os professores têm o desafio de apresentar o conhecimento anatômico em forma concisa e atraente, ressaltando a importância clínica e utilidade prática.

Para , o uso de recursos computacionais como estratégia de ensino de neuroanatomia leva a duas exigências fundamentais: primeiro, apresentar a informação gráfica sob a forma mais próxima à realidade que o estudante enfrentará; segundo, propiciar ao estudante situações reais para as quais o reconhecimento prático dos elementos anatômicos é fundamental para interpretar um fenômeno biológico ou levar a um diagnóstico, estabelecendo-se então uma ação terapêutica.

Outro recurso importante consiste na estereoscopia, ou seja, a técnica de transformar imagens bidimensionais em tridimensionais. Há grande interesse em seu uso no ensino médico devido a algumas vantagens, tais como: facilitar a memorização; menor necessidade de cadáveres e segmentos anatômicos para o estudo prático; minimização do contato com substâncias conservantes tóxicas, como o formol. .

De acordo com , os *software* educacionais com esboços interativos são úteis na concepção teórica global dos tópicos morfológicos, mas claramente ineficientes na transferência para o reconhecimento prático de estruturas anatômicas. Estes recursos

computacionais aplicados à área médica proporcionam uma importante redução de custos no processo de ensino e na confecção de material didático, minimizando a utilização de peças humanas, contribuindo para que um maior contingente de alunos possa obter acesso fácil às informações que até então estão disponíveis apenas em livros técnicos. A Tabela 1 logo abaixo apresenta um resumo de recursos disponíveis na *Internet* para o ensino de neuroanatomia, sendo que vários deles oferecem visualização tridimensional (3D).

Tabela 1 - Síntese dos principais materiais multimídia para a educação em neuroanatomia.

Sítio WEB	Objetivo do Sítio	Material Disponibilizado	Característica Informática	Conexão Clínica	Custo
Modelos Anatômico (ANA-TOMY, 2007)	Disponibilizar modelos anatômicos em 3D para educadores, estudantes, médicos e pacientes.	Duas séries de dados anatômicos em 3D. Um jogo elaborado com partes do corpo virtuais e também modelos 3D do corpo todo se expandindo ao nível celular.	Oferece sete formatos 3D compatíveis, entre eles .stl, IGES, etc. Para programas do CAD como Solidworks, ProE, Catia, e arquivos PDF.	Somente Modelos 3D anatômicos.	Versão Profissional e completa por € 998
Anatomia Humana por Hipocrates (HUMANA, 2007)	Fornecer conceitos das diversas partes anatômicas do corpo com imagens e textos.	Material sobre Anatomia humana, mostrado em textos e figuras.	Webpage simples para o acesso a conteúdo.	Mostra so conceitos de Anatomia, não aplicando em doenças clínicas.	Acesso gratuito e livre
Atlas de Anatomia (ANATOMIST, 2007)	Sistema fornecido pela Universidade Washington, departamento de Biologia. Objetivo a organizar partes anatômicas em formato 3D, propondo interação com o usuário.	Possui fotos de peças, imagens e desenhos construídos em 3D, além de alguns vídeos em 3D. Possui também um jogo de perguntas em relação aos temas fornecidos no sítio.	Requer Java Web Start para permitir o funcionamento de algumas animações.	Relaciona-se algumas patologias como acidente vascular cerebral, meningiomas.	Acesso gratuito e livre

Continua

Continuação

Sítio WEB	Objetivo do Sítio	Material Disponibilizado	Característica Informática	Conexão Clínica	Custo
Sociedade Brasileira de Neurocirurgia (NEURO CIRURGI A, 2007)	Fornecer links em Neurociências para estudantes, professores e pesquisadores.	Conteúdo em Neurociências, superfície cerebral, mapas dinâmico da superfície cerebral.	Página simples para o acesso aos <i>links</i> .	Não possui conexão clínica.	Acesso gratuito e livre
Tutorial em Neurociências (MEDICINE, 2007)	Fornecer um tutorial com teoria de Neuroanatomia e correlação funcional de suas estruturas.	Neste tutorial é encontrado tópicos diversos em Neuroanatomia como: sistema nervoso, cerebelo, memória, nervos cranianos, visão e retina, e outros.	Página simples para o acesso ao conteúdo.	Faz relação com as funções estruturais.	Acesso gratuito e livre
Conjunto de Projetos dos Estudantes (TOPICS, 2007)	É uma coleção de projetos multimídia em ensino de Medicina. Desenvolvido por estudantes de medicina sobre a supervisão da faculdade médica de McGill. Constitui uma fonte de informação para profissionais da área médica, educadores e pacientes.	Possui diversos links na área de neurociências como: tumores cerebrais, estrutura do cérebro humano, fotos de peças dissecadas, explicação anatômica das estruturas, Neuropatologias.	Página simples para o acesso aos projetos dos alunos.	Faz relação com diversas patologias e ainda fornecem links específicos como neuropatologias.	Acesso gratuito e livre

A análise da Tabela 1 permite estabelecer as seguintes conclusões:

- a) Todos os sítios visitados têm como objetivo fornecer conceitos e imagens anatômicas diversas;
- b) Em mais de 50% dos sítios tratados, o foco está centrado em Neurociências. Em 33% dos casos, as imagens são apresentadas em formato 3D; já em 50% destes, usam-se textos para detalhar conceitos associados às imagens fornecidas;

- c) Em 66% dos sítios, não se necessita de nenhum recurso ou aplicativo adicional para acessar as informações. Para a visualização dos modelos 3D anatômicos, são oferecidos sete formatos de arquivos, entre eles *.stl*, *IGES*, etc. Em caso de programas como *Solidworks*, *ProE*, *Catia*, os arquivos são disponibilizados em formato PDF. Já para o Atlas de Anatomia (ANATOMIST, 2007), é necessário o *plugin Java Web Start* para fazer funcionar algumas animações;
- d) Em 33% dos sítios pesquisados, relaciona-se o seu conteúdo com algum tipo de patologia;
- e) Em apenas um dos sítios pesquisados (16%) cobra-se pelo acesso ao material.

2.3 CONCLUSÕES

A análise de algumas propostas já existentes na literatura revela que, em termos neurofisiológicos, predominam imagens estáticas, incluindo-se também representações bidimensionais algumas vezes animadas. Todavia, a falta de representações tridimensionais acarreta dificuldade de conjugar a correta visualização da morfologia de diversas microestruturas à cadeia de fenômenos bioquímicos. Do ponto de vista da neuroanatomia, algumas propostas apresentam visualizações tridimensionais, sendo que na maior parte dos casos não existe conexão da neuroanatomia com a parte clínica. O acesso ao material, geralmente, é disponibilizado para todos os usuários da *Internet*.

As conclusões acima apresentadas norteiam o desenvolvimento de duas ferramentas pedagógicas no capítulo seguinte.

3 CONTRIBUIÇÕES AO ENSINO INTERDISCIPLINAR DE NEUROCIÊNCIAS

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar uma plataforma baseada em VRML que gera uma representação interativa e tridimensional (3D) de uma célula neural, com o intuito de desenvolver um recurso para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem da Área de Neurociências, com particular enfoque em Neurofisiologia. O *software* permite pontos de vistas diferentes, incluindo uma visão geral da estrutura inteira do neurônio, detalhes específicos das microestruturas, como dendritos e canais iônicos. A plataforma é de baixo custo e inclui conexão para programas em *html*. Além disso, requer uma configuração bastante simples de computador (no mínimo, um computador 486 DX4 com 32 MB de memória RAM, ou um outro computador compatível com esta descrição.).

A segunda parte do capítulo buscou desenvolver um *software* com a imagem do cérebro humano (Atlas Neuroanatômico), que também viabilizasse de forma mais eficiente o processo de aprendizagem na área de neurociências, em particular, neuroanatomia. Após uma síntese sobre linguagem orientada a objeto e o projeto informático neste contexto, tentou-se implementar a reconstrução tridimensional (3D) do cérebro humano, utilizando o compilador Visual C++ 6.0 e as bibliotecas gráficas do *software* Visualization Toolkit (VTK). Adicionalmente à reconstrução 3D, foi gerado um atlas bidimensional cerebral contendo uma ampla variedade de estruturas e o detalhamento da funcionalidade das mesmas.

3.1 O NEURÔNIO TRIDIMENSIONAL

3.1.1 Metodologia

Com o intuito de gerar um *software* dentro dos padrões técnicos de programação, realizou-se a análise para a modelagem e construção do aplicativo. As Figuras 1 e 2 mostram os diagramas do projeto.

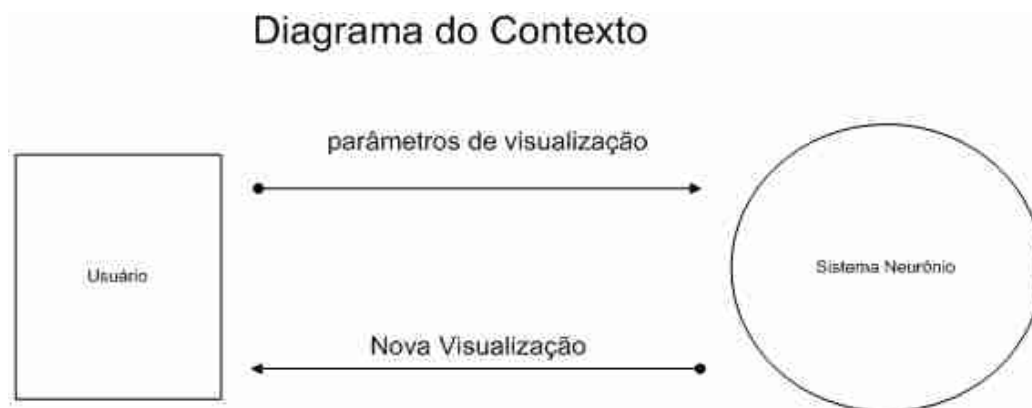


Figura 1 - Diagrama do Contexto.

Concomitantemente, temos a seguinte descrição para o dicionário de eventos: parâmetros de visualização [*Walk* (Andar), *Fly* (Voar), *Study* (Examinar), *Plan* (projetar), *Pan* (Panorama), *Turn* (Girar), *Roll* (Rolar), *Go to* (ir para), *Align* (Alinhar), *Restore* (Restaurar), *Fit* (Ajustar a tela)]; nova visualização: objeto alterado, gerado pelo sistema após as opções escolhidas pelo usuário do sistema.

Dessa forma, utilizando a modelagem como premissa básica, implementou-se o aplicativo. O programador iniciou a construção do *software*, primeiramente, com a construção do corpo celular. Após esta fase, criaram-se as organelas circundantes. Em seguida, desenvolveu-se o axônio, logo após os dendritos, a bainha de mielina e, por último, os canais iônicos.

Diagrama de Transição de Estados

Generalizando todas as opções de visualização

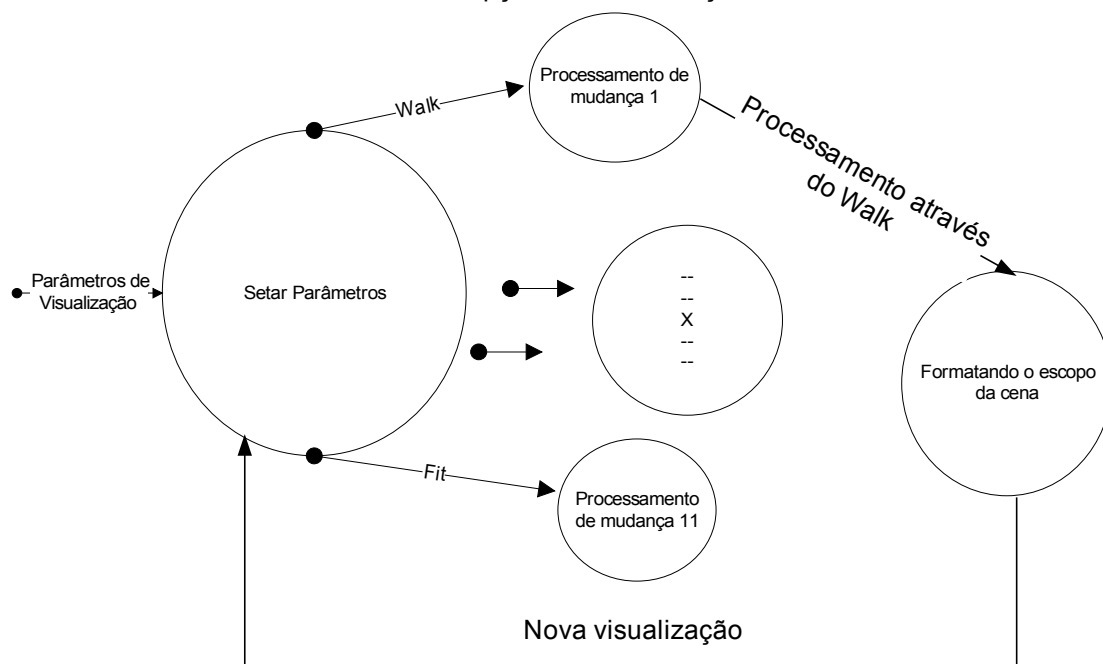


Figura 2 - Diagrama de Transição de Estados.

Para sua execução, o *software* necessita de, no mínimo, um computador 486 DX4 com 32 MB de memória RAM, ou um outro computador compatível com esta descrição.

3.1.2 Resultados e Discussão

Como pode ser observado na seqüência das Figuras 3 a 6, percebe-se que o trabalho proposto apresenta uma construção dinâmica, permitindo que o usuário interaja com a animação, podendo centrar suas atenções nas partes que realmente lhes são importantes, por este motivo o *software* foi desenvolvido em linguagem de programação VRML.



Figura 3 - Neurônio completo, visão frontal.

Essa dinâmica de visualizações de imagem tem o objetivo de levar à compreensão da cadeia de fenômenos neurofisiológicos. Tal dinâmica pode ser notada observando-se a Figura 3, que ilustra uma visão geral do neurônio, já a Figura 4 apresenta um panorama mais detalhado da estrutura nuclear deste, ao passo que na Figura 5 tem-se a visualização do fenômeno do transporte de íons, com a abertura do canal iônico e a propagação do sinal ao longo do axônio até as terminações do mesmo, que são conhecidas como ramificações terminais axônicas ou telodendrites (KANDEL et al., 2000). A Figura 6 apresenta detalhes internos ao citoplasma.

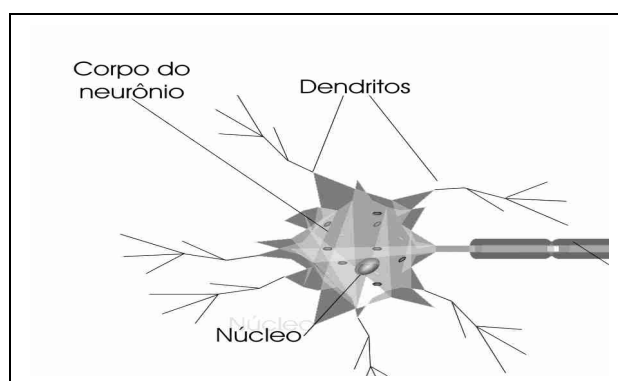


Figura 4 - Estrutura Nuclear, vista superior.



Figura 5 - Transporte de íons, visão frontal com aproximação (*zoom*).

O programa permite que o usuário possa visualizar de forma lógica a arquitetura neural, bem como a disposição de suas estruturas básicas necessárias para o seu funcionamento. O usuário parte de uma visão geral como demonstrado na Figura 3, para uma visão específica, como observado na Figura 5, que exhibe os canais iônicos e a forma como eles participam na propagação do potencial de ação. A Figura 6 apresenta uma amostra do neurônio, após rotação e translação, permitindo uma análise mais nítida dos processos internos da célula neural.

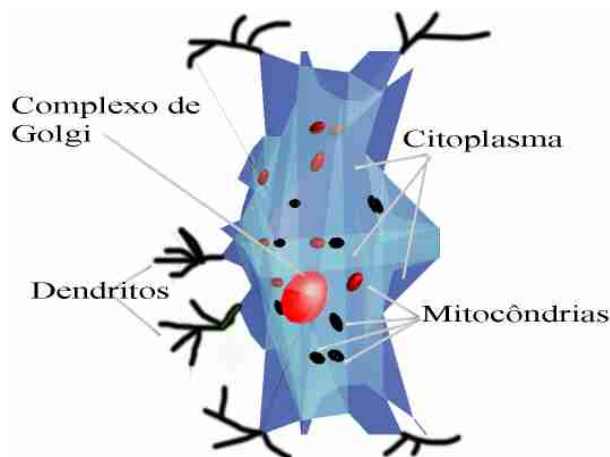


Figura 6 - Citoplasma e Mitocôndrias, visão lateral oblíqua, após rotação, translação e aproximação (*zoom*).

A metodologia de construção do programa permite, por parte do usuário, a criação de uma hierarquia da estrutura neuromorfológica, já que são utilizadas, inicialmente, imagens de caráter geral, seguidas daquelas específicas. Essa forma de aprendizagem faz parte de uma das correntes pedagógicas atuais (AMORETTI, 2001; TAVARES; LUNA, 2004), proposta pelo pedagogo Ausubel (AUSUBEL, 1980), estabelecendo que o conhecimento deve ser construído a partir do conceito geral para o específico, com o objetivo de facilitar o processo de ensino-aprendizagem do aluno. Esta estratégia de ensino é também discutida em (AMORETTI, 2001; TAVARES; LUNA, 2004). Por outro lado, existem ainda outras frentes pedagógicas, como aquela de Paulo Freire (FREIRE, 1997), que afirma “educar é construir, é libertar o ser humano das cadeias do determinismo”. Assim sendo, sugerimos a utilização do aplicativo como forma de ampliar o leque de conhecimentos do aluno.

Desta forma, o programa proposto, além de facilitar a visualização de um ponto de vista dinâmico da rede de fenômenos neurofisiológicos, permite que o usuário possa criar uma seqüência lógica da arquitetura neural, bem como a forma que as suas subestruturas estão organizadas ao longo do corpo neural, axônios e dendritos.

Após o estudo da Neurofisiologia, da pesquisa por métodos comprovados de ensino-aprendizagem (AUSUBEL, 1980; PAULO FREIRE, 1997) e da modelagem do neurônio segundo as regras da Engenharia de *Software* (PADUA, 2003), criou-se então o neurônio tridimensional, utilizando a linguagem de programação VRML.

O neurônio tridimensional pode ser visualizado através de qualquer navegador de *Internet*, dessa forma pode ser disponibilizado para consulta em qualquer localidade,

sendo apenas necessário ao estudante um acesso à *WEB* na localidade onde o aplicativo estiver disponível. Por outro lado, a utilização do *software* permite a economia de papel, pois diversos conceitos e processos dinâmicos podem ser exibidos com apenas alguns movimentos no *mouse*.

3.2 ATLAS NEUROANATÔMICO

A seguir, será apresentada algumas características da metodologia de orientação a objetos, tal metodologia foi a utilizada no estudo/desenvolvimento dos aplicativos/*software* desenvolvidos nesta dissertação.

3.2.1 Linguagem Orientada a Objeto

Projeto orientado a objeto é uma metodologia de engenharia de *software* que separa adequadamente a complexidade do sistema e providencia uma ligação para acréscimos futuros, dividindo uma tarefa complexa em pequenas partes simples denominadas objetos. Utiliza como terminologia padrão a nomenclatura de Rumbaugh (RUMBAUGH et al., 1991), que é independente da linguagem de programação.

Os objetos são abstrações do modelo físico ou partes abstratas do sistema simulado. Metodologias de projetos orientados a objetos providenciam mecanismos para identificar as abstrações que existem com o sistema e o modelo comportamental dos objetos, os quais são abstrações que encapsulam as propriedades e o comportamento das entidades no sistema. Cada objeto tem uma identidade própria.

Um objeto também pode ser definido como o modelo abstrato do estado e comportamento de uma entidade em um sistema, onde entidades são objetos em um sistema que possui identidade. Cadeiras, aviões e câmeras são objetos que correspondem a entidades físicas no mundo real. Árvores binárias, tabelas e coleções ordenadas são objetos que existem somente no mundo da ciência da computação.

Operações são funções ou transformações que podem ser aplicadas a um objeto, definindo seu comportamento. Métodos são procedimentos que implementam as operações para objetos particulares.

Juntos os atributos e as operações de um objeto compõem suas propriedades, as quais possibilitam agrupamento dos objetos através do processo de classificação. Uma classe de objeto, usualmente denominada de “classe”, especifica as propriedades que todos os objetos desta classe disponibilizam. A classe somente especifica os nomes das

propriedades, não possuindo seus valores. Diferentes classes podem ter propriedades com nomes que existem em outras classes.

Quando uma operação com o mesmo nome é aplicada para objetos de diferentes classes, denomina-se esta operação de polimorfismo. Para se usar os membros de uma classe para alguma operação, cria-se uma instância da classe (processo de instanciação).

A herança é um mecanismo de programação que simplifica a adição de novas classes para o sistema, sendo adaptada da origem da observação que muitos sistemas podem ser especificados usando um sistema de classificação hierárquico.

A organização de objetos em um sistema hierárquico de herança possibilita muitos benefícios, visto que propriedades de uma classificação geral são também propriedades de sua subclasse. De fato, pode-se rapidamente adicionar novas classes levemente diferentes daquelas existentes, promovendo a extensão do sistema. Heranças podem ser derivadas através de uma sistemática *top-down*, usando o processo de especialização, ou elas podem ser criadas de uma forma *bottom-up*, combinando classes similares durante o processo, isto é, a generalização.

Classes que existem somente para atuar com superclasses para suas subclasses são denominadas de classes abstratas, as quais são úteis para reunir atributos e métodos que todas as subclasses irão utilizar; podendo também definir os protocolos para o comportamento de suas subclasses.

A programação orientada a objetos possibilita facilidades nas tarefas desenvolvidas. Consultando a documentação do projeto que define as propriedades dos objetos para uma primitiva, é possível ao programador adicionar facilmente uma nova funcionalidade ao objeto. Conseqüentemente, esta estratégia é largamente utilizada pelo fato de ser modular, possuir fácil manutenção e simples descrição pelo sistema de processos tradicional.

3.2.2 Fundamentos de Projeto

O projeto de um *software* em qualquer que seja a escolha da linguagem é uma tarefa muito complexa. O primeiro passo no projeto do sistema é frequentemente o mais árduo. Assim, na elaboração do projeto técnico, deve-se possuir um micro e macro-entendimento do domínio da aplicação do sistema a ser modelado (SCHROEDER et al., 1996).

Atualmente sistemas de *software* tentam resolver problemas complexos do mundo real. Um rigoroso projeto de *software* e uma implementação metodológica podem facilmente aumentar esta complexidade. Todavia, sem tal metodologia, desenvolvedores de *software* podem encontrar dificuldades ao especificar sistemas a serem desenvolvidos. Além do mais, como uma especificação modifica e cresce, um sistema de *software* que não tenha uma sólida arquitetura e um adequado projeto, irá ter dificuldades adaptativas para requisições de expansão.

As características ideais de um bom projeto de *software* estão descritas logo abaixo.

- Sistema robusto: opera em condições não-ideais de forma eficiente, comportando-se consistentemente;
- Sistema inteligível: pode ser operado por qualquer pessoa além do programador original;
- Sistema expansível: quando aceita novas tarefas além daquelas previstas inicialmente;
- Sistema modular: quando a quantidade de relações existentes entre os componentes do sistema é mínima;
- Sistema manutenível: permite isolar e reparar facilmente problemas, sem introduzir nenhuma consequência prejudicial nas partes isoladas do sistema;
- Sistema reusável: quando sua implementação facilita a inserção de novas funcionalidades; e quando partes desse sistema podem ser acrescentadas em outros sistemas, mantendo a funcionalidade original no novo sistema que está se desenvolvendo.

Projetos de sistemas orientados a objetos se iniciam com um modelo dos objetos, o qual identifica cada objeto no sistema, suas propriedades e suas relações com outros objetos no sistema. As técnicas de modelagem de objetos (*Object Modeling Technique - OMT*) usam retângulos para descrever classes e uma variedade de conectores para descrever herança e outras relações de objeto-objeto. Classes são representadas por linhas sólidas, enquanto que instâncias são representadas por linhas pontilhadas. Existem modelos descrevendo a parte estática de um sistema, enquanto outros detalham o aspecto dinâmico, descrevendo detalhes de seqüências de eventos e dos tempos de dependência. OMT se vale de esquemas de estados para modelar dinamicamente o

sistema, o que permite seu controle e a interface com o usuário. A Figura 7 apresenta a definição de uma classe animais e as sub-classes ave, mamífero, ornitorrinco que estão intrinsecamente ligadas (modelagem feita utilizando a *UML - Unified Modeling Language* - linguagem para especificação, documentação, visualização e desenvolvimento de sistemas orientados a objetos).

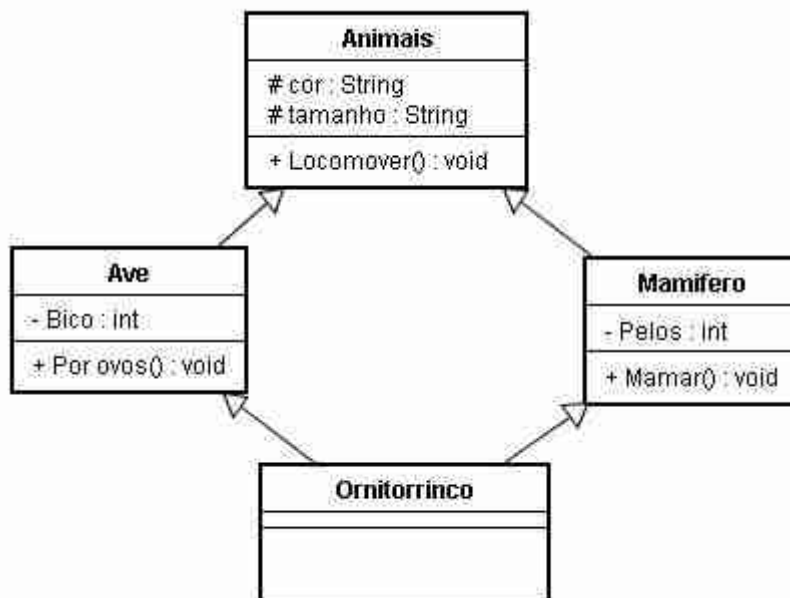


Figura 7 – Modelagem classe animais.

Os modelos funcionais mostram como os dados fluem através do sistema e como são processados e transformados pelos algoritmos, ressaltando também dependências funcionais entre os processos. Os componentes principais de um diagrama de fluxo de dados (DFD) são as fontes de dados, dados submersos, e processos; representados respectivamente por retângulos, retângulos e elipses. DFD's são úteis para descrever o fluxo global de dados no sistema, podendo também ser usados para descrever qualquer processo que transforma uma representação de dados em outra. Processos identificados no DFD durante a modelagem de função podem-se tornar operações ou objetos no modelo de objetos.

3.2.3 Fundamentos de Reconstrução Tridimensional

Inicialmente serão discutidos alguns conceitos.

a) Cores:

A sensibilidade da visão humana compreende comprimentos de onda situados entre 400 e 700 nanômetros (nm). A luz que atinge os olhos humanos possui diferentes intensidades de comprimentos de onda, vide exemplo mostrado na Figura 7.



Figura 8 – Potência de um feixe de luz versus comprimento de onda (SCHROEDER et al., 1996).

O espectro da Figura 8 define as cores da luz. No olho humano existem três tipos de receptores de cores, cada qual compreendido em um subconjunto de 400 a 700 nanômetros de comprimento de faixa de onda, conforme a Figura 9.

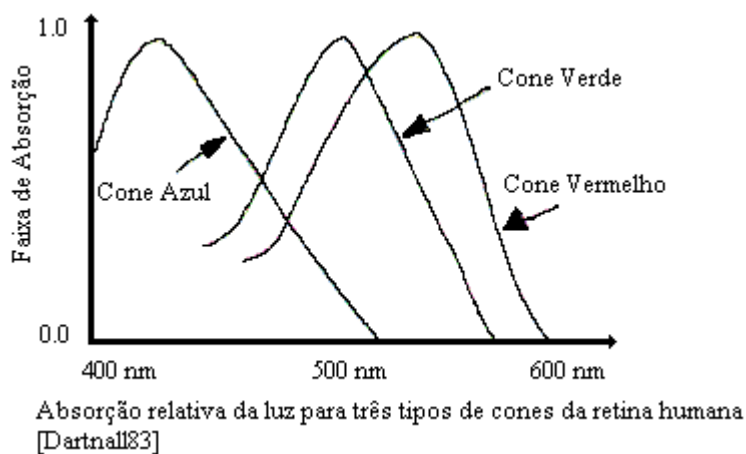


Figura 9 – Absorção devido ao comprimento de faixa de onda (SCHROEDER et al., 1996).

Qualquer cor que uma pessoa enxerga é codificada por seus olhos nestas três faixas sobrepostas, implicando enorme redução na capacidade de informação associada

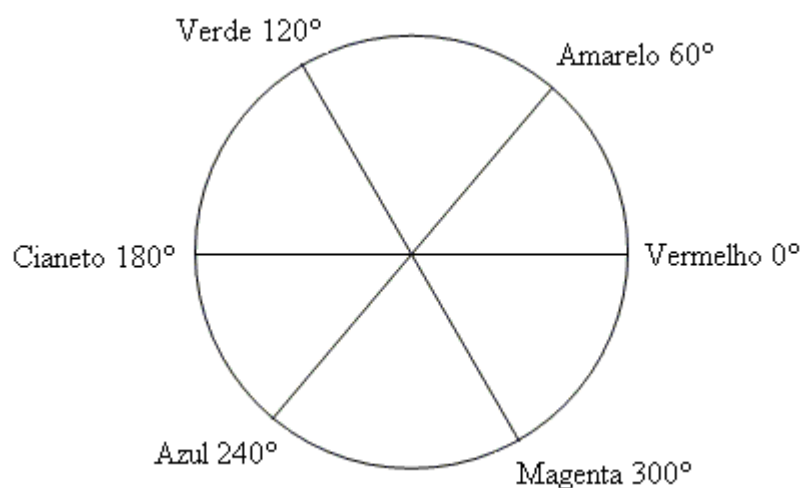
ao processamento visual. Como resultado, pode-se armazenar e representar cores em um computador que usa uma forma simplificada de codificação, sem que o olho humano reconheça a diferença.

Os dois sistemas simples que são utilizados para descrever as cores são o “Red-Green-Blue” (RGB) e o HSV. O primeiro representa as cores baseadas em vermelho, verde e azul. Já o segundo compara as cores a sua matiz de saturação. A Tabela 2 discute os dois sistemas, sendo que cada quantidade desta tabela está associada à intensidade da cor. Esta última é também conhecida como a “luminosidade”, representando o quanto de luz faz parte da cor. Os valores 0.0 sempre estão associados ao preto, enquanto que o valor 1.0 corresponde à cor branca.

De modo geral, tem-se que a matiz ou tonalidade é ligada ao comprimento de onda da cor, sendo a tonalidade freqüentemente representada através de um círculo das diferentes matizes, como mostrado na Figura 10.

Tabela 2 - Conversão entre os formatos RGB e HSV (SCHROEDER et al., 1996).

Cores	RGB	HSV
Preto	0,0,0	*,*,0
Branco	1,1,1	*,0,1
Vermelho	1,0,0	0,1,1
Verde	0,1,0	1/3,1,1
Azul	0,0,1	2/3,1,1
Amarelo	1,1,0	1/6,1,1
Cianeto	0,1,1	1/2,1,1
Magenta	1,0,1	5/6,1,1
Azul-Celeste	1/2,1/2,1	2/3,1/2,1

**Figura 10** – Representação circular das tonalidades (SCHROEDER et al., 1996).

Cada localização desta circunferência representa uma diferente tonalidade, podendo ser especificada usando um ângulo, que varia de 0 a 1. Deve-se observar que 0 corresponde a zero grau no círculo e 1 corresponde a trezentos e sessenta graus. A saturação indica o quanto da tonalidade está misturada na formação da cor.

b) Iluminação:

Se não existir luz, o resultado da imagem será preto e não informativo. Além disso, a interação da fonte de luz com a superfície dos objetos determinará o que será visto nas cenas. Cada vez que um raio de luz intercepta a superfície do objeto, tem-se algo para a câmera exibir. No caso de uma fonte de luz local, os feixes de luzes são emitidos em todas as direções.

c) Câmeras:

Na construção de uma cena, necessita-se de uma fonte de luz e um ator (objeto, parte externa dos corpos, face com suas especificidades). Todos os pontos da superfície do ator interagem com a luz, resultando em uma composição de cores, isto é, combinação da luz, superfície do objeto, reflexão e efeitos do ambiente. A Figura 11 apresenta a câmera e algumas variáveis, tais como: posição, orientação, ponto focal, o método de projeção e a localização da câmera.

O vetor definido entre a posição da câmera e o ponto focal é denominado de “direção da projeção”. O ângulo de visão fornece os limites que a câmera consegue captar para determinada cena, entre os planos de corte inferior e superior. Os métodos de projeção controlam como os atores serão mapeados para o plano da imagem. De modo geral temos que uma imagem tridimensional (3D) será definida então por uma pirâmide formada entre o plano de corte inferior, ponto focal e o plano de corte superior.

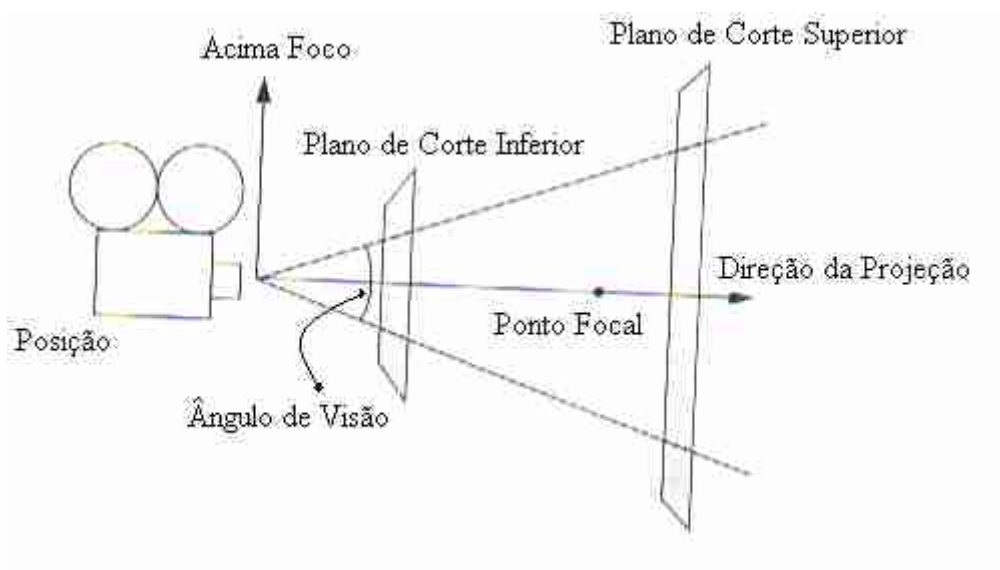


Figura 11 - Atributos da Câmera (SCHROEDER et al., 1996).

d) Sistemas de Coordenadas:

Existem quatro sistemas de coordenadas, comumente usados em computação gráfica, cada qual servindo para um propósito: *model*, *world*, *view* e *display*.

O sistema de coordenadas *model* supõe um objeto definido tipicamente por um sistema de coordenadas cartesianas locais.

O sistema de coordenadas *world* é o espaço 3D no qual os atores são posicionados. Um das responsabilidades do ator é converter as coordenadas do modelo em coordenadas do *world*. Cada modelo pode ter seu próprio sistema de coordenadas, mas há só um sistema de coordenadas *world*. Cada ator deve escalar, girar, e traduzir seu modelo de sistema para coordenada *world*, no qual a posição e a orientação de máquinas fotográficas e luzes são indicadas.

3.2.4 Fundamentos de visualização/renderização e o sistema VTK

Diferentes terminologias são usadas para descrever visualização: “*Visualização científica é o nome formal dado para o campo da computação científica em torno da interface do usuário, representação de dados e processamento de algoritmos, representação visual e outros sensores mostrados como som ou tato*” (MCCORNICK et al., 1978). Trata-se do processo de exploração, transformação e exibição de dados como imagens (ou outras formas sensoriais) para obter entendimento e a compreensão clara dos dados.

Já a Computação Gráfica é o processo de criação de imagens usando computador, incluindo figuras, imagens bidimensionais (2D), bem como técnicas de criação de figuras e imagens também em 3D, além da renderização. Esta última corresponde à obtenção de imagens a partir de um modelo, considerando seus atributos visuais (cores, textura, iluminação), sendo utilizada em computação gráfica para armazenar e manipular modelos de objetos e suas imagens pelo computador. Quando se renderiza um objeto, visualiza-se a sua superfície e suas interações com a luz. Todavia, objetos comuns como nuvens, água e névoa são transparentes ou tem a luz difundida ao passar por eles, o que dificulta o processo, caso este seja baseado em modelo de interações de superfície. Além disso, é necessário considerar as mudanças de propriedades dentro dos objetos para corretamente renderizá-los.

No processo de renderização, analisa-se matematicamente um modelo de objeto com a descrição da superfície, tais como pontos, linhas, triângulos, polígonos. O interior dos objetos não é geralmente descrito, porém simplesmente aproximado. Já as técnicas de renderização de volume permitem mostrar a homogeneidade no interior dos objetos.

A saída do processo de computação gráfica é uma imagem, enquanto que a saída da visualização é freqüentemente produzida usando computação gráfica. Algumas vezes a visualização de dados pode ser considerada a forma da imagem, em outras se deseja

visualizar a geometria dos objetos usando técnicas de renderização da computação gráfica. Outra perspectiva é considerar a visualização como uma atividade que engloba o processo de exploração e entendimento dos dados, incluindo ambos, imagem e computação gráfica; assim como processamento, filtragem, técnicas computacionais e projeto de *software*.

O futuro da visualização de dados e da computação gráfica mostra ser altamente promissor. Poucas décadas atrás, o campo da visualização não existia e a computação gráfica foi mostrada como apenas mais um ramo da disciplina de ciência da computação. Com o desenvolvimento de técnicas e a expansão da utilização dos computadores, os cientistas iniciaram a utilização da computação gráfica para uma melhor compreensão de suas áreas e também para o compartilhamento de dados. Ao mesmo tempo, ferramentas contendo interfaces mais amigáveis com usuários foram desenvolvidas. Dessa forma, os sistemas informatizados passaram a se adaptar ao usuário ao invés do contrário. Com a visualização gráfica pode-se extrair informações precisas dos dados, analisando-os de forma mais produtiva, entendendo e gerenciando sistemas mais complexos do que aqueles anteriormente existentes.

Dentre as diversas ferramentas disponíveis para a visualização, deve-se destacar o VTK (*Visualization Toolkit*), estruturada como uma hierarquia de classes, onde um conjunto de serviços é oferecido para a construção de aplicações gráficas em geral, fornecendo suporte a gráficos em 3D/2D, visualização e navegação, processamento de imagem e geração de volumes. O VTK é um *software* aberto produzido e disponibilizado pela *Kitware Inc.* (VTK, 2005). Ele é portátil a várias plataformas diferentes de hardware e *software*. (SCHROEDER et al., 1996).

A estrutura básica da utilização do VTK, evidenciando os principais elementos de uma aplicação escrita utilizando hierarquia de classes, está especificada logo abaixo:

- 1 – Criação de uma janela principal, onde são apresentadas as imagens;
- 2 – Definição de áreas específicas da janela, onde são apresentadas as imagens. Diversos parâmetros devem ser criados nesse momento, com o intuito de definir as cores de fundo, textura, iluminação e outras propriedades;
- 3 – Definição dos elementos gráficos que compõem a cena. As classes devem ser instanciadas para cada um dos elementos gráficos.

O VTK oferece classes específicas para manusear e transformar características importantes de uma aplicação gráfica. Como exemplo detalham-se algumas:

- (a) *VtkLight*, para estabelecer os critérios de iluminação da cena, com a finalidade de permitir o tratamento adequado da reflexão, contribuindo para o realismo em 3D das cenas;
- (b) *VtkCamera*, para estabelecer as referências do observador, com a finalidade de orientar a classe responsável pela navegação na cena;
- (c) *VtkRenderWindowInteractor* e *vtkInteractorStyle*, para estabelecer os critérios de navegação a serem realizados pelo usuário, isto é, aquilo que será oferecido via *mouse* e teclado para o usuário interagir com a cena/aplicação.

As bibliotecas do Visualization Toolkit estão em linguagem C e incorporam no sistema facilidades de integração no ambiente de programação e grande diversidade de entidades, objetos e funções disponíveis, facilitando a reutilização de código. Deve-se destacar alguns aspectos importantes da linguagem C++, como a possibilidade de programação de alto e baixo nível; orientação a objetos; alta flexibilidade, portabilidade e consistência. O Visual C++ 6.0 oferece uma interface de programação amigável e com alto nível de abstração.

A escolha de C++ para a biblioteca gráfica do Visualization Toolkit ocorreu pelo fato da linguagem suportar a utilização de classes, ligação dinâmica de métodos para objetos e herança. A linguagem C++ está amplamente disponível para várias plataformas de sistemas UNIX e computadores pessoais (SCHROEDER et al., 1996).

3.2.5 RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL APLICADA AO CÉREBRO

Com o objetivo de reconstruir estruturas neuroanatômicas tridimensionais a partir de imagens tomográficas bidimensionais, utilizou-se a plataforma Visual C++ 6.0 e as bibliotecas gráficas do *software* VTK, sistema operacional Windows 2000, em um computador Athlon XP 2000+ com 768 MB de memória RAM, placa de vídeo de 64 MB e disco rígido de 40 GB. Com o intuito de gerar um *software* dentro dos padrões técnicos de programação, realizou-se a análise para a modelagem e construção do aplicativo. As Figuras 12 e 13 mostram os diagramas do projeto.

Diagrama do Contexto

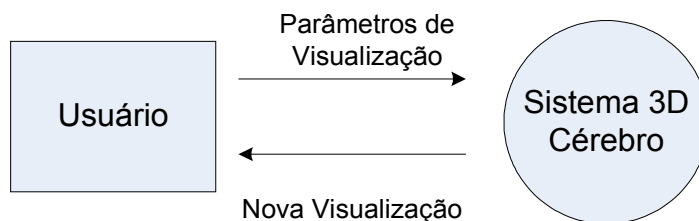


Figura 12 - Diagrama do Contexto.

Diagrama de Transição de Estados

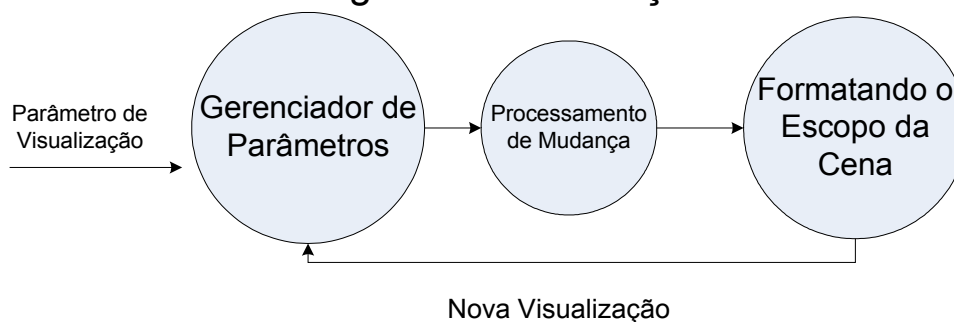


Figura 13 - Diagrama de Transição de Estados.

Concomitantemente, temos a seguinte descrição para o dicionário de eventos: parâmetros de visualização (Click de Mouse) nova visualização: objeto alterado, gerado pelo sistema após a opção escolhida pelo usuário do sistema.

Dessa forma, utilizando a modelagem como premissa básica, implementou-se o aplicativo. Segue no APÊNDICE A a documentação relativa à codificação de uma das partes principais do sistema.

As bibliotecas gráficas do VTK integraram-se perfeitamente à programação implementada no compilador Visual C++ 6.0. Foram utilizadas imagens de tomografia disponibilizadas em (HARVARD, 2006), aqui denominadas “cortes”, produzindo os seguintes resultados, conforme mostram as Figuras 14 e 15.

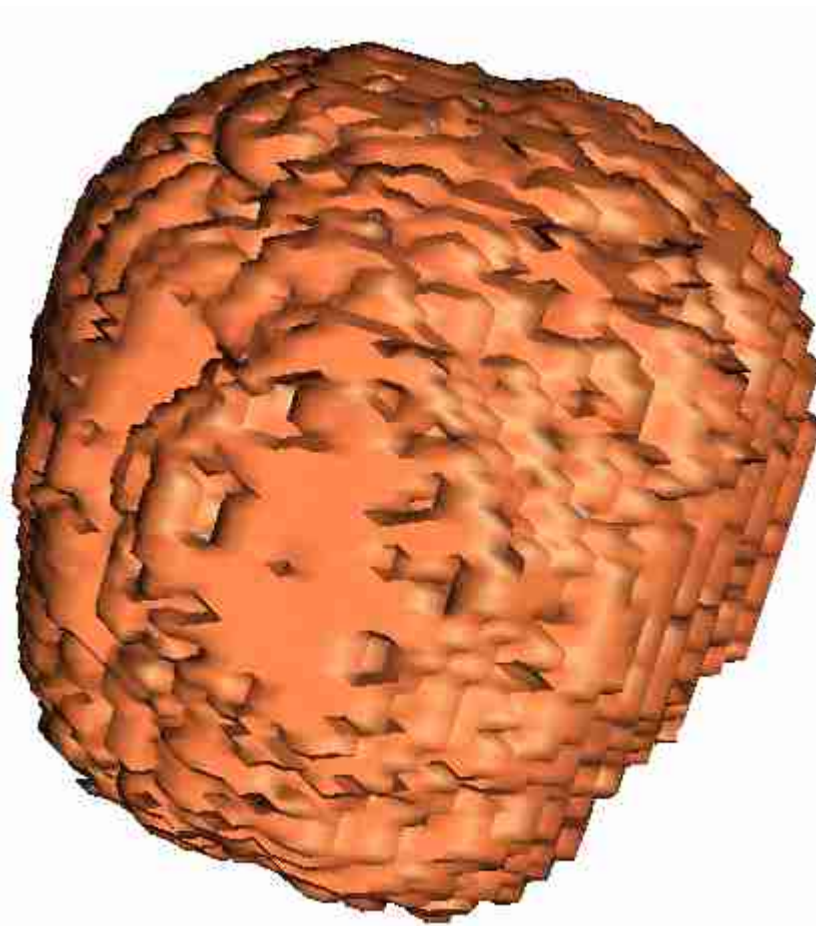


Figura 14 - Vista Superior do Cérebro.

Tem-se na Figura 14 uma visualização superior do cérebro, onde se percebe que todos os cortes foram conectados, produzindo a figura que é exibida. Para a obtenção do objeto como um todo, foram utilizadas interpolações de imagens nas junções das estruturas, objetivando a integração final do objeto. As bibliotecas gráficas do *software* VTK, contribuíram de maneira produtiva na programação do aplicativo, pois vários procedimentos e funções puderam ser acoplados ao sistema, evitando o desenvolvimento ou re-elaboração de novos códigos. Dessa forma, houve uma economia de tempo e de trabalho na construção do programa. Por outro lado, foi necessário dispensar muita atenção para a integração de diversos *software* diferentes: Visualization Toolkit, C++ e Tcl. O sistema de acoplagem de código pode levar a situações que não estão claramente detalhadas nas bibliografias da área e a descoberta de soluções pode ser demasiadamente longa. A programação feita em C++ foi também extensa e complexa.

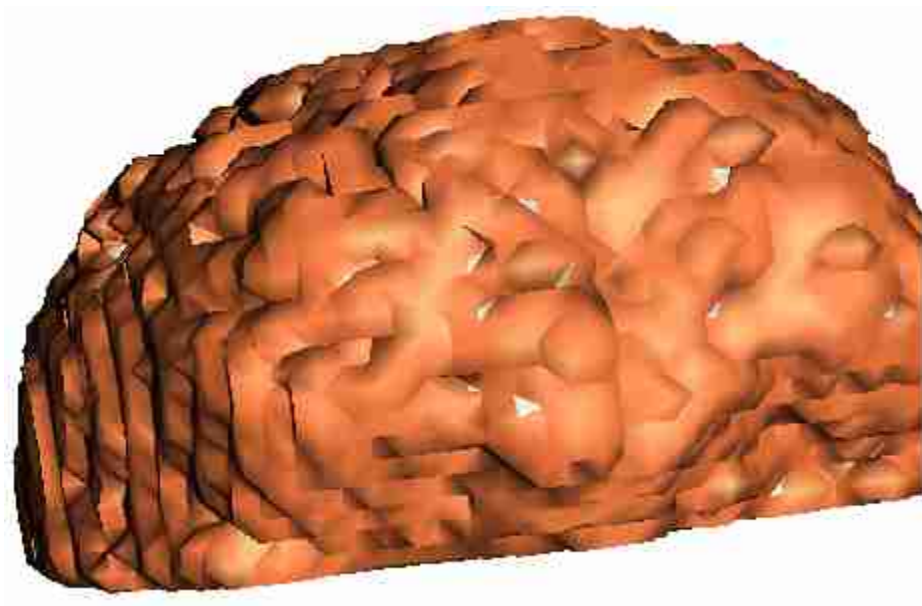


Figura 15 - Vista Lateral do Cérebro.

Tem-se na Figura 15 uma visualização da parte lateral do cérebro. O *software* gera imagens em 3D e pode-se rotacionar o objeto reconstruído para melhor apreciação do mesmo. Outra característica interessante é a possibilidade de aproximar-se e afastar-se (*zoom*) da imagem produzida, facilitando o processo de análise e estudo do objeto gerado.

Para uma visualização tridimensional (3D) ideal do cérebro, seria necessário que as imagens utilizadas para a reconstrução fossem as mais próximas possíveis umas das outras, ou seja, as dimensões das fatias cerebrais deveriam ser diminutas.

Todas estas peculiaridades mencionadas levaram à produção de imagens distantes umas das outras, comprometendo significativamente a reconstrução da parte interna do cérebro, devido à grande riqueza de microestruturas existentes e que não puderam ser retratadas. Contudo, considerando a face externa do encéfalo, pode-se considerar que a reconstrução foi possível. Deve-se também analisar em maior profundidade a ferramenta de interpolação de imagens propiciada pelo sistema VTK, objetivando melhorias no sistema.

3.2.6 IMPLEMENTAÇÃO DE UM ATLAS NEUROANATÔMICO BIDIMENSIONAL

Dadas as dificuldades associadas à reconstrução tridimensional, optou-se por fundamentar o trabalho para uma situação mais simples, ligada à implementação de um atlas baseado em imagens reais.

Peças anatômicas provenientes do Laboratório de Anatomia Humana da UFU foram selecionadas, fixadas em formol 10% e posteriormente dissecadas e seccionadas. A Anatomia de superfície do material foi registrada por meio de uma câmera fotográfica digital *Sony Cyber-shot DSC-P93*, com resolução cinco (5) MegaPixels, Indonésia.

Em seguida, foram realizadas secções das peças nos planos anatômico transversal, paramediano sagital e mediano. Seguiu-se então à busca por aprofundamento e ampliação dos conhecimentos morfofuncionais sobre o sistema nervoso central (SNC), para que as imagens dos planos de corte fossem adequadamente selecionadas e fotografadas utilizando-se a referida câmera fotográfica. Fez-se então a abordagem teórica, em forma de textos, sobre as estruturas cujas imagens foram previamente selecionadas.

Visando a padronização das imagens, foi desenvolvido um equipamento de corte de tecido pelo qual, por meio de um exato posicionamento da peça anatômica, implementou-se a secção destas peças nos planos pré-estabelecidos, de forma a imprimir o menor dano possível ao material. Tal equipamento foi projetado e desenvolvido a partir da proposta dos acadêmicos e professores da Faculdade de Engenharia Elétrica e do Instituto de Ciências Biomédicas da UFU.

Todavia, ao se fazer a incisão do cérebro, durante o processo de seccionamento das peças anatômicas, houve uma deteriorização das mesmas, devido a imperfeições no equipamento destinado ao corte. Conseqüentemente, ocorreu a produção de fatias cerebrais demasiadamente distantes umas das outras, o que inviabilizou a tentativa de reconstrução tridimensional.

O atlas bidimensional contém assim a Anatomia de superfície das estruturas cerebrais e os cortes das mesmas, incluindo explicações ricamente detalhadas de cada peça/estrutura. Do ponto de vista informático, utilizou-se a linguagem Visual C++ 6.0, que permitiu arranjos adequados entre as fotografias (em formato *.jpg*) e os textos (em formato Word).

A Figura 16 apresenta um exemplo da descrição de uma estrutura biológica, a medula espinhal. As setas e os respectivos números indicam precisamente detalhes

anatômicos relevantes, sendo que tais detalhes são listados na parte direita da tela. Quando necessário, textos explicativos são inseridos, podendo ser acessados através de botões. Outras peças/estruturas seguem o mesmo modelo de apresentação, conforme mostrado na Figura 17, que exhibe o telencéfalo e algumas de suas peculiaridades.

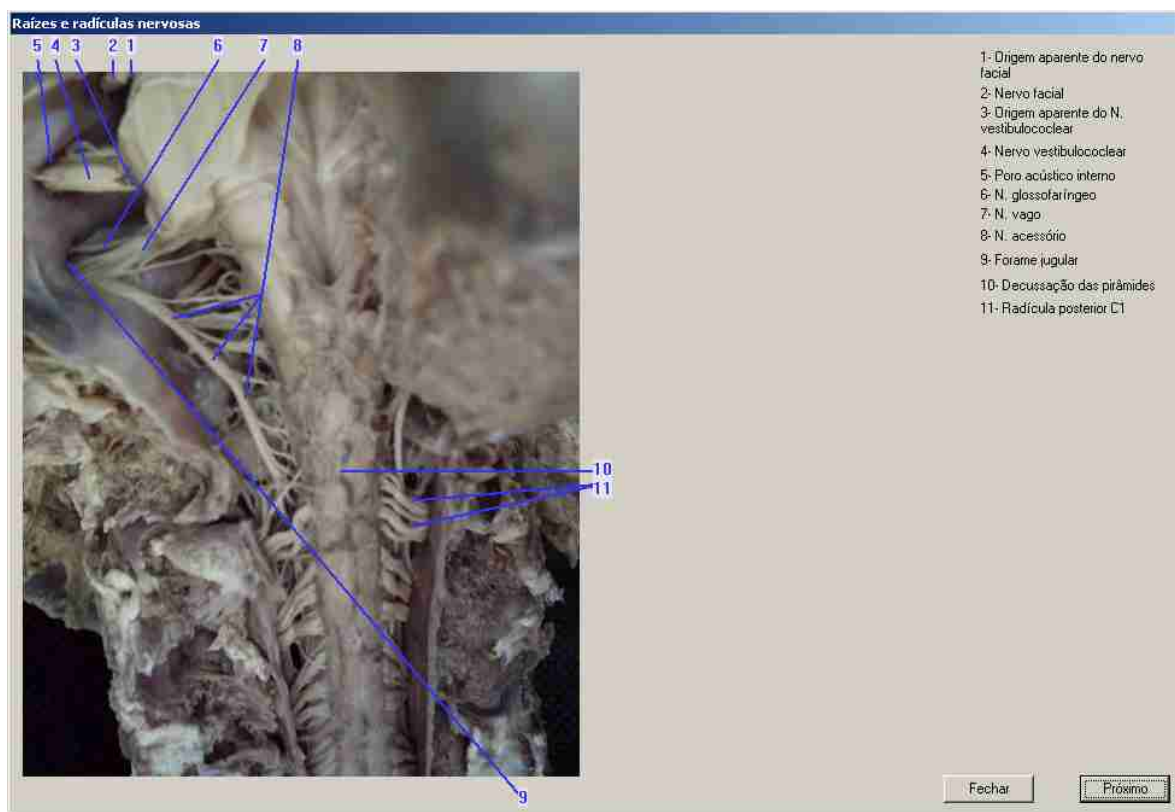


Figura 16 - Medula Espinhal.

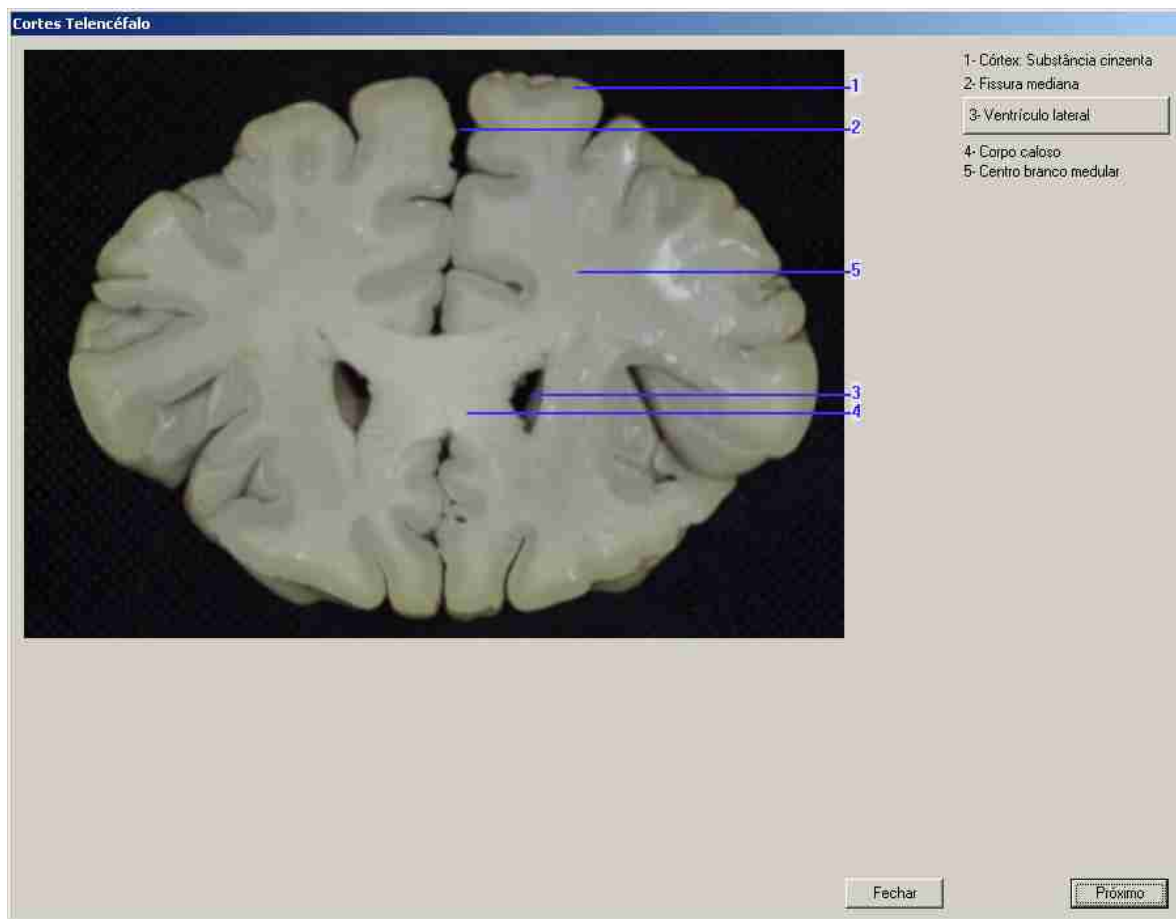


Figura 17 - Telencéfalo.

A estrutura completa do atlas implementado foi dividida em duas seções, denominadas “Estruturas Cerebrais” e “Cortes”, que serão brevemente discutidas a seguir.

3.2.6.1 Estruturas Cerebrais

Com relação à Anatomia de superfície temos a seguinte divisão de itens (CARPENTER, 1978; MACHADO, 1993):

a) Medula espinhal

A irrigação da medula espinhal é realizada pelas artérias espinhais anteriores, posteriores e pelas artérias radiculares, sendo que as artérias espinhais anteriores ocupam a fissura mediana anterior e atingem a intimidade do tecido por meio das artérias sulcais. Estas irrigam os cornos e funículos anteriores e laterais da medula espinhal. Por sua vez, as artérias posteriores (direita e esquerda), para atingir a face dorsal da medula

espinhal, contornam as olivas. São mediais às radículas que compõem os nervos espinhais e irrigam os cornos e funículos posteriores. Já as artérias radiculares surgem das artérias tireoidianas inferiores, intercostais, tóraco-abdominais, lombares e sacrais. Atingem a medula acompanhando o correspondente nervo espinhal, dividindo-se em ramos anterior e posterior, penetrando na medula com o correspondente ramo do nervo;

b) Tronco encefálico

É dividido em mesencéfalo, ponte e medula oblonga ou bulbo raquídeo;

c) Mesencéfalo

Entre a ponte e o cérebro, é separado deste pelo plano que liga os corpos mamilares à comissura posterior. Os sulcos correspondem à substância negra na superfície e separam a base do tegumento dos pedúnculos cerebrais. O tecto do mesencéfalo apresenta dorsalmente os colículos superiores e inferiores (relacionados à visão e audição respectivamente); corpos quadrigêmeos separados por sulcos perpendiculares em forma de cruz. O corpo pineal aloja-se superiormente no ramo longitudinal da cruz. Pertence ao diencéfalo. Caudalmente aos colículos inferiores surgem (origem aparente) o par do nervo troclear, único nervo craniano que emerge posteriormente. Ele contorna o mesencéfalo para surgir entre ele e a ponte. Cada colículo liga-se a um corpo geniculado do diencéfalo. Já os pedúnculos cerebrais são dois grandes feixes de fibras que surgem na borda superior da ponte, divergindo cranialmente para penetrar no cérebro. Delimitam a fossa interpeduncular, limitada anteriormente pelos corpos mamilares (diencéfalo);

d) Ponte

Interposta entre o bulbo e o mesencéfalo, é ventral ao cerebelo, repousando sobre a parte basilar do occipital e a sela túrcica do esfenóide;

e) Medula oblonga ou bulbo raquídeo

Em forma de um tronco de cone com extremidade voltada para baixo, é limitado superiormente pelo sulco bulbo-pontino e inferiormente pelo ponto de onde sai o primeiro par de nervos espinhais, logo abaixo do forame magno;

f) Telencéfalo

Os hemisférios são separados pela fissura longitudinal do cérebro, cujo assoalho é o corpo caloso, estrutura que une os dois hemisférios. Os ventrículos laterais se comunicam com o terceiro ventrículo por meio dos forames interventriculares. Os hemisférios possuem três pólos (frontal, occipital e temporal) e três faces (súpero-lateral, mesial e inferior);

g) Vasculatura

A parada da circulação por mais de sete segundos no encéfalo causa perda de consciência; após cinco minutos sem circulação há lesão irreversível, sendo primeiro lesadas as estruturas filogeneticamente mais recentes (neocórtex, sistema nervoso suprasegmentar). A última área lesada é o centro respiratório;

h) Meninges

Estão associadas ao espaço subaracnóideo, das membranas leptomeníngicas (pia-aracnóide) e do líquido cefalorraquidiano, os quais envolvem o encéfalo e a medula espinhal.

3.2.6.2 Os Cortes da Estrutura Cerebral

a) Medula espinhal (CARPENTER, 1978; MACHADO, 1993):

Etimologicamente, medula significa “miolo” e indica o que está dentro. Assim medula espinhal significa dentro do canal vertebral, podendo ser considerada uma maçã cilíndrica de tecido nervoso dentro do canal vertebral, sem ocupá-lo completamente. No homem adulto, mede aproximadamente 45 cm, sendo um pouco menor na mulher. Cranialmente a medula delimita-se com o bulbo, aproximadamente ao nível do forame magno do osso occipital. O limite caudal da medula tem importância clínica e no adulto situa-se na 2ª vértebra lombar (L2). A medula termina afinando-se para formar um cone, o cone medular, que continua com um delgado filamento meníngeo, o filamento terminal.

b) Bulbo:

Apresenta sulcos longitudinais que delimitam áreas anterior/ventral, lateral e posterior/dorsal. A fissura mediana anterior termina no forame cego. De cada lado deste último e, superiormente a ele, há a pirâmide, composta de fibras nervosas descendentes que ligam áreas motoras do cérebro a neurônios motores da medula espinhal. Trata-se do cérebro tracto cortiço-espinhal ou tracto piramidal. Inferiormente no bulbo ocorre a decussação das pirâmides, formado pelo cruzamento oblíquo das fibras do tracto cortiço-espinhal, que oclui a fissura mediana anterior. A área lateral do bulbo é delimitada pelos sulcos anterior e lateral, abrigando a oliva, formada por uma massa de corpos de neurônios de substância cinzenta, o núcleo olivar inferior. A oliva é uma importante referência para a saída de filamentos radiculares que constituirão os pares de nervos cranianos.

c) Ponte:

Em sua base (ventral) apresenta feixes de fibras transversais que compõem o pedúnculo cerebelar médio, dirigido ao correspondente hemisfério cerebelar. O limite entre a ponte e o pedúnculo é o local de emergência do nervo trigêmeo. Sua superfície ventral aloja a artéria basilar no sulco homônimo. O sulco bulbo pontino separa ventralmente a ponte e o bulbo. É a origem aparente dos núcleos cranianos (NC) VI (abducente – entre a ponte e a pirâmide), VIII (vestíbulo-coclear – próximo do flóculo lateralmente) e VIII (facial – medial ao VIII). O nervo intermédio está entre os NC VII e VIII. As partes dorsais da ponte e bulbo não são separadas por linha e constituem o assoalho do ventrículo IV. A parte dorsal é denominada tegmento da ponte, que possui estruturas semelhantes ao bulbo e ao mesencéfalo. Deve-se destacar que a base, parte ventral da ponte, é diferente das outras áreas do tronco encefálico. No limite entre o tegmento e a base da ponte existe o corpo trapezóide, resultado das fibras oriundas dos núcleos cocleares que cruzam para o lado oposto.

d) Mesencéfalo:

Encontra-se entre a ponte e o cérebro, sendo separado deste pelo plano que liga os corpos mamilares à comissura posterior. O aqueduto cerebral comunica os ventrículos III e IV. Os sulcos correspondem à substância negra na superfície e separam a base do tegmento dos pedúnculos cerebrais. O tecto do mesencéfalo apresenta

dorsalmente os colículos superiores e inferiores, relacionados à visão e audição respectivamente; corpos quadrigêmeos separados por sulcos perpendiculares em forma de cruz.

e) Telencéfalo:

É dividido em quatro lobos (frontal, temporal, parietal e occipital), os quais são divididos por três sulcos: central, lateral e parieto-occipital. O sulco lateral se inicia na base do cérebro e termina emitindo três ramos: anterior, que penetra no lobo frontal; posterior, que penetra no lobo parietal e descendente. O sulco central é margeado pelos giros pré e pós-central; as áreas situadas adiante do sulco relacionam-se à motricidade; as posteriores com a sensibilidade. O único lobo cerebral que não tem relação com osso é a insula, situada profundamente, no sulco lateral. A divisão anatômica dos lobos não corresponde a uma divisão funcional, exceto no caso do lobo occipital, associado à visão.

3.2.7 Conclusão

Comparando-se as propostas de atlas neuroanatômicos apresentadas no capítulo anterior (vide Tabela 1) ao trabalho desenvolvido nesta seção, podem-se estabelecer as seguintes conclusões:

- O atlas têm um caráter eminentemente interdisciplinar, possuindo linguagem simples, para permitir a utilização com estudantes da área de exatas.

- As imagens fornecidas pela maioria dos sítios consultados são de baixa qualidade de resolução, dificultando o reconhecimento de partes importantes para o estudo do aluno. Além disso, há uma forte ênfase na conexão da descrição neuroanatômica com a clínica.

- As propostas da literatura exigem *Internet* para acesso, devido ao fato das mesmas serem protegidas, tendo sua disponibilização restrita à acesso pela internet, enquanto que esta proposta pode ser disponibilizada em CDROM.

- Todas as imagens fornecidas no atlas foram fotografadas no Laboratório de Anatomia Humana da Universidade Federal de Uberlândia, sendo devidamente preparadas e os textos explicativos revisados.

- Os recursos oferecidos pelo atlas permitem fácil operação, incluindo interface amigável.

Por outro lado, o atlas possui o inconveniente de ser apenas bidimensional, não incluindo a visualização tridimensional e a interatividade.

3.3 CONCLUSÃO GERAL

Com relação à implementação do neurônio tridimensional, o recurso obtido é interativo e não exige configuração computacional complexa para a construção do sistema. Vale salientar que o *software* poderia ser disponibilizado para acesso via *WEB*, tornando-se, dessa maneira, acessível a qualquer usuário que possua uma conexão com a *Internet*. Tal resultado deve ser comparado às propostas existentes na literatura e discutidas na seção 2.2, essencialmente estáticas e/ou bidimensionais.

Uma tentativa de reconstrução tridimensional de estruturas neuroanatômicas a partir de imagens tomográficas foi realizada. Todavia, ocorreram problemas principalmente na reconstrução da parte interna, que comprometeram a eficiência do sistema e a qualidade das imagens geradas. Por outro lado, deve-se destacar a necessidade de refinar a metodologia de interpolação das diversas tomografias, bem como a boa capacidade do sistema desenvolvido em rotacionar o objeto reconstruído. De fato, para o desenvolvimento de um *software* de visualização tridimensional do cérebro, seria necessário que as imagens utilizadas para a reconstrução fossem as mais próximas possíveis, devido à grande riqueza de microestruturas existentes e que não puderam ser retratadas.

Adicionalmente, ocorreu a implementação de um atlas neuroanatômico bidimensional, baseado em fotografias de alta resolução de peças reais, incluindo uma elevada quantidade de cortes das diversas estruturas componentes, bem como de minuciosas informações da constituição da Anatomia de superfície do cérebro. Neste atlas, de caráter essencialmente interdisciplinar, buscou-se uma intensa conexão entre Anatomia e clínica. O Atlas foi armazenado em CDROM, o que permite seu uso numa

plataforma computacional qualquer, sem a necessidade de conexão com a *Internet*. Por outro lado, falta à nova proposta visualizações tridimensionais.

As propostas desenvolvidas no presente capítulo, de cunho pedagógico interdisciplinar, permitiram contato, prática e experiência com diversas ferramentas da computação gráfica e do processamento de imagens (APÊNDICE F). Adicionalmente a isso, temos também, a convivência desenvolvida com diferentes profissionais das áreas biológica e médica, aliada ao conhecimento de novas técnicas e modelamento gráficos (SILVA, 2006), levaram o autor desta dissertação a focar o trabalho em outra vertente: aplicações clínicas da computação gráfica mais detalhadamente, a construção de uma ferramenta de apoio ao estudo da deglutição, o que será desenvolvido no próximo capítulo.

4 FERRAMENTA DE APOIO AO ESTUDO DA DEGLUTIÇÃO

A deglutição é um ato neuromuscular de grande complexidade, que tem como função transportar o bolo alimentar (saliva, líquidos e alimentos) para o estômago e realizar a limpeza do trato respiratório. Trata-se de uma ação automática comandada pelo tronco cerebral e que, para uma melhor compreensão, pode ser dividida em 3 fases: oral, faríngea e esofágica.

No Brasil, a deglutição passa a ser estudada mais detalhadamente a partir da década de 90 e isto ocorre pela preocupação com as disfagias propriamente ditas, independente da patologia onde a mesma ocorria. Com o início dos trabalhos com disfagia é que se percebe a importância de conhecer em profundidade as estruturas e o funcionamento detalhado do mecanismo da deglutição (MARCHESAN, 2007).

A disfagia orofaríngea é um distúrbio ou déficit do comando motor, sinérgico ou seqüencial da deglutição do alimento, podendo ocorrer nas fases oral, faríngea ou esofágica; a qual pode ter sido causada por alterações musculares, neurológicas ou estruturais. A importância de sua detecção e atenção precoce reside em: problemas nutricionais que desencadeia, o risco eminente de infecções respiratórias e a mudança de comportamento social (retração, isolamento, etc.) (ERTEKIN et al., 1975; GUATERIE, 1990; BOA SAÚDE, 2007).

Na análise das disfagias orofaríngeas pode-se usar a videofluoroscopia, que consiste em um exame radiológico contrastado, considerado como padrão ouro para o estudo da deglutição. Todavia, existem vários outros métodos invasivos e não invasivos (LINDEN; SIEBENS, 1983; EKBERG, 1990). A videofluoroscopia, associada aos exames clínicos, são os exames mais citados na bibliografia, e evidenciam as alterações neuro-musculares encontradas nas fases oral, faríngea e esofágica da deglutição (XIMENES, 2007).

A aplicação da informática na análise dos dados de exames clínicos poderá tornar os métodos de estudo mais práticos e mais acessíveis. Encontram-se na literatura alguns *software* utilizados na análise da deglutição, que priorizam a videofluoroscopia e geram resultados mais rapidamente que a metodologia clássica, entre eles: *Contour Tracking* (CHANG et al., 1999); *Boing Graph* (EKBERG et al., 1989); *CLA Technique* (DANBOLT et al., 1999); *AMOMC* (CHEN et al., 2001); Tradução da deglutição

computacionalmente (SILVA, 2001); *VIDEOMED* (MOTILIDADE DIGESTIVA, 2006), *Aspiration detection* (LEE et al., 2006).

Objetivando fornecer mais recursos a este exame, construiu-se um Sistema Protótipo de Vídeo-Análise da Deglutição, que se vale de uma plataforma ao mesmo tempo comum e genérica (flexível), capaz de medir de forma simples, objetiva e exata os intervalos de tempos das fases da deglutição (oral, faríngea e esofágica), economizando acentuado esforço manual na separação das imagens fornecidas pela videofluoroscopia. O capítulo presente discute o desenvolvimento da plataforma informática, bem como de um experimento clínico realizado para validar o sistema.

4.1 A DEGLUTIÇÃO

4.1.1 Morfofisiologia da Deglutição

A deglutição tem por função transportar material da cavidade oral para o estômago, não permitindo a entrada de nenhuma substância na via aérea. A passagem do bolo alimentar sem ser aspirado é o resultado de uma interação complexa entre os diversos músculos e nervos que participam da deglutição necessitando, para isso, de uma organização osteomusculoarticular bem definida e coordenação precisa (FURKIN; SANTINI, 1999).

A deglutição é um processo contínuo, todavia para facilitar a compreensão, pode ser dividido em fases: oral, faríngea e esofágica. Tal divisão é baseada em suas características anatômicas e funcionais (FURKIN; SANTINI, 1999; MARCHESAN, 1995).

A fase oral

A fase oral é voluntária. É a fase na qual ocorre a preparação, qualificação, organização e ejeção do conteúdo a ser deglutido da cavidade oral para a faringe. Nessa fase, o bolo alimentar se mistura à saliva, e se isso não ocorrer de maneira adequada, comprometerá a fase seguinte. Quanto maior o intervalo de tempo de mastigação, maior será a fase oral. O bolo é, então, colocado entre a língua e o palato duro antes do início da deglutição voluntária. A faringe e a laringe estão em repouso. A via aérea está aberta e a respiração nasal continua até que a deglutição ocorra.

A língua é a principal estrutura articuladora das fases oral e faríngea da deglutição (YAMAMOTO et al., 1996). O estudo da movimentação da língua é essencial para o completo entendimento da fisiologia da deglutição. A língua exerce

várias funções importantes: leva o alimento para ser mastigado, junta este alimento, contém o bolo formado, acomoda este bolo e o propulsiona para trás. A capacidade volumétrica da cavidade oral pode alterar o tamanho, a forma, o volume, a temperatura, a consistência do bolo e a acidez ou a alcalinidade dos fluídos orais (pH). A fase oral e suas estruturas são ilustradas na Figura 18, numa representação geral.

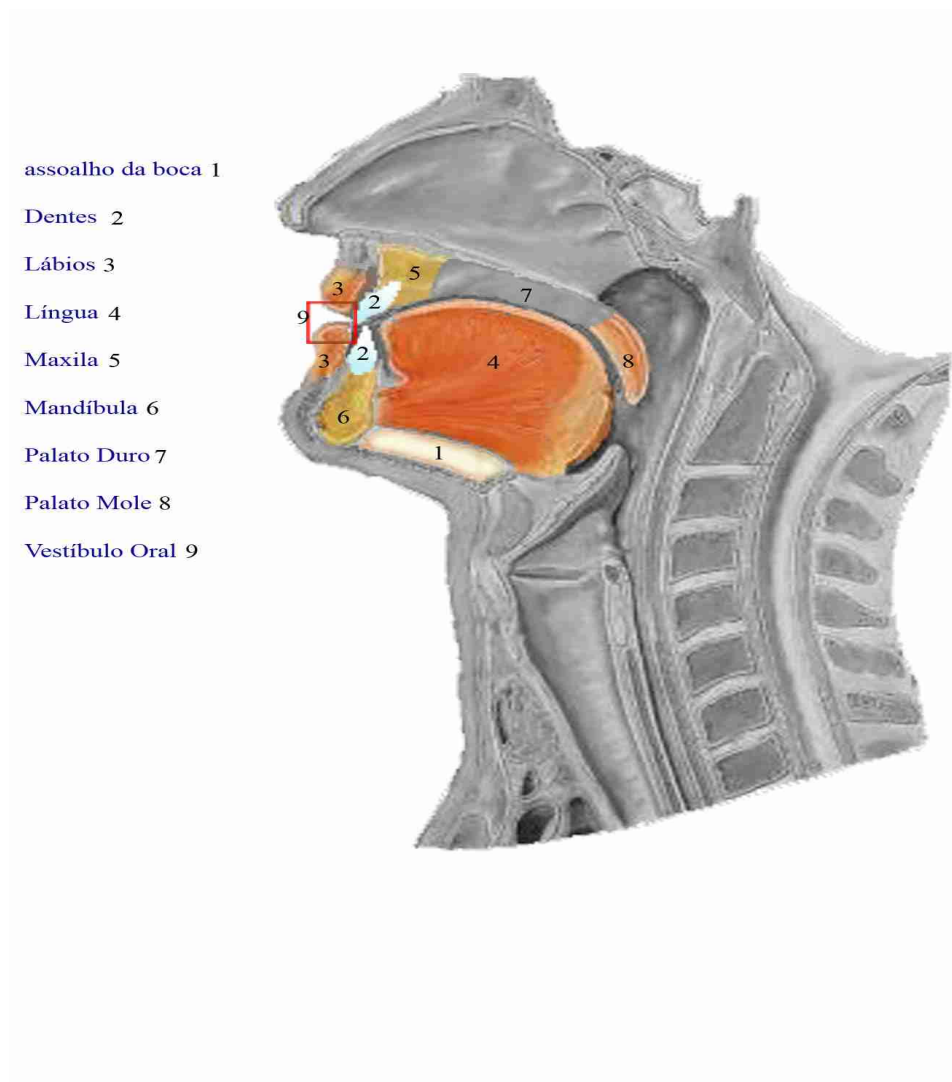


Figura 18 - Estruturas da Fase Oral – Adaptado do Laboratório de Motilidade Digestiva - Imagem do Depto. de Anatomia da UFRJ (SILVA, 2001).

A Figura 19 mostra a localização das estruturas responsáveis pelo controle neurológico da deglutição e, na Tabela 3, encontram-se suas respectivas funções.

Primeiramente, será apresentado à Figura 19 e após esta, segue-se a Tabela 3.

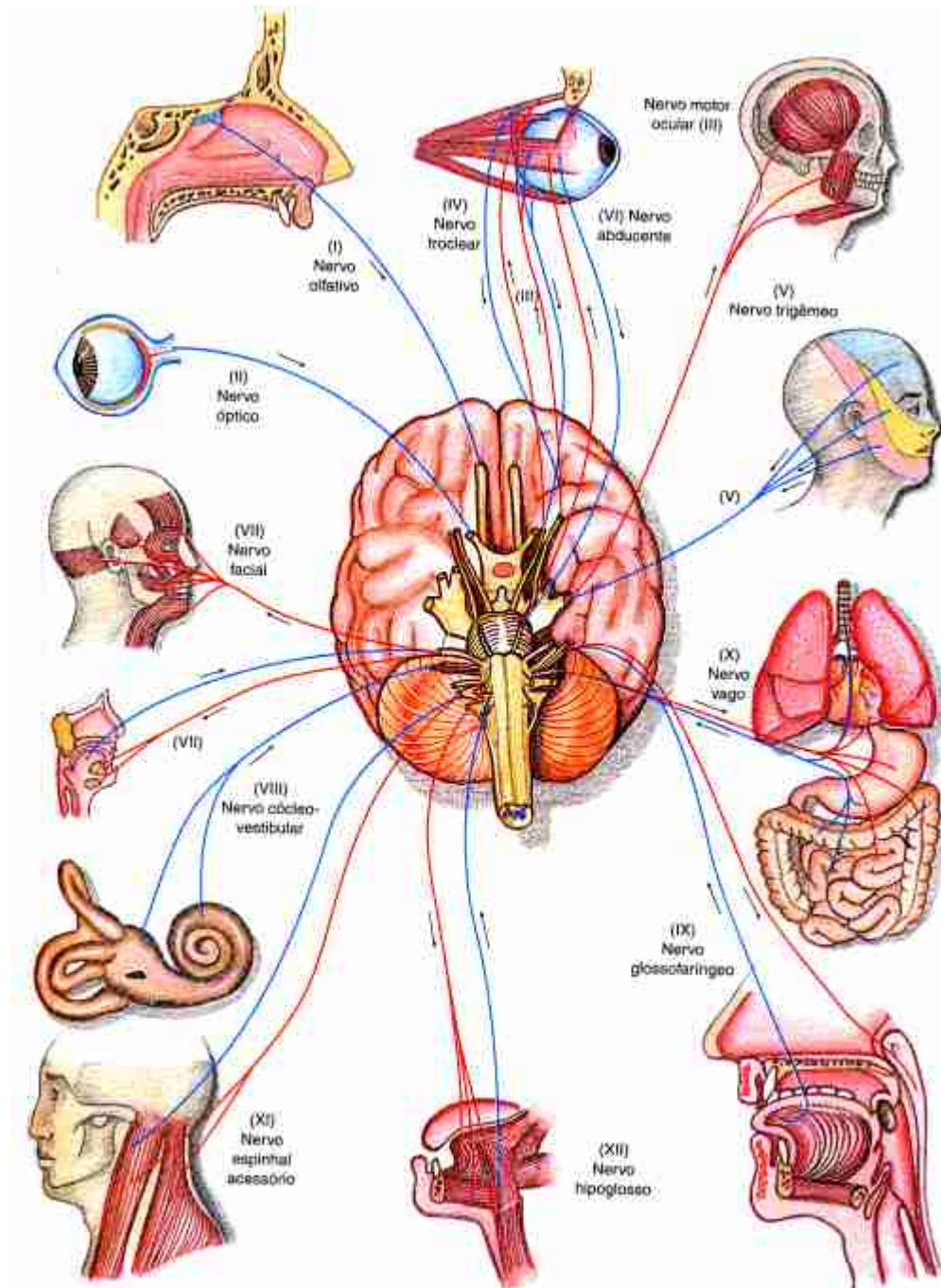


Figura 19 - Sistema Nervoso Periférico (UNIPAR, 2007).

Tabela 3 - Esquema de função dos doze pares de nervos cranianos relativos à Figura 19.

Número	Par Craniano	Função
I	<u>Olfatório/olfactivo</u>	Olfação (sensitivo).
II	<u>Óptico</u>	Visão (sensitivo.)
III	<u>Motor ocular comum/oculomotor</u>	Motricidade dos músculos ciliar, esfíncter da pupila, e de todos os músculos extrínsecos do bulbo do olho, exceto os listados para os nervos cranianos IV e VI (motor).
IV	<u>Patético/trocLEAR</u>	Motricidade do músculo oblíquo superior do bulbo do olho (motor).
V	<u>Trigêmeo</u>	Controle dos movimentos da mastigação (ramo motor); Percepções sensoriais da face, seios da face e dentes (ramo sensorial).
VI	<u>Motor ocular externo/abducente</u>	Motricidade do músculo reto lateral do bulbo do olho (motor).
VII	<u>Facial</u>	Controle dos músculos faciais – mímica facial (ramo motor); percepção gustativa no terço anterior da língua (ramo sensorial).
VIII	<u>Auditivo/vestibulo-ococlear</u>	Vestibular: orientação e movimento. Coclear: audição (sensitivo).
IX	<u>Glossofaríngeo</u>	Percepção gustativa no terço posterior da língua, percepções sensoriais da faringe, laringe e palato (sensitivo e motor).
X	<u>Vago</u>	Percepções sensoriais da orelha, faringe, laringe, tórax e vísceras. Inervação das vísceras torácicas e abdominais (sensitivo e motor).
XI	<u>Espinhal/acessório</u>	Controle motor da faringe, laringe, palato, dos músculos esternocleidomastóideo e trapézio (motor).
XII	<u>Hipoglosso</u>	Motricidade dos músculos da língua (exceto o músculo palato glosso) (motor).

A fase faríngea

Inicia-se com a geração de uma deglutição e a elevação do palato mole para fechar a nasofaringe e consiste na contração peristáltica dos constritores faríngeos para propulsionar o bolo pela faringe. A deglutição envolve uma seqüência complexa de movimentos coordenados. A primeira função neuromotora que ocorre na faringe é o fechamento velofaríngeo (X e IX). A segunda ação é a contração dos constritores faríngeais para começar a ação peristáltica (X). A terceira atividade é a de proteção da laringe por sua elevação (XII) e seu fechamento através das bandas ventriculares (XI e X). Por último, o músculo crico-faríngeo ou segmento faringoesofageal relaxa, permitindo a passagem do bolo ao esôfago. Quando o indivíduo apresenta um

fechamento incompleto da estrutura da laringe, isso pode levar à penetração do alimento durante o processo de deglutição e/ou à aspiração (MACKOWIACK et al., 1967). A Figura 20 mostra uma representação geral da fase faríngea.

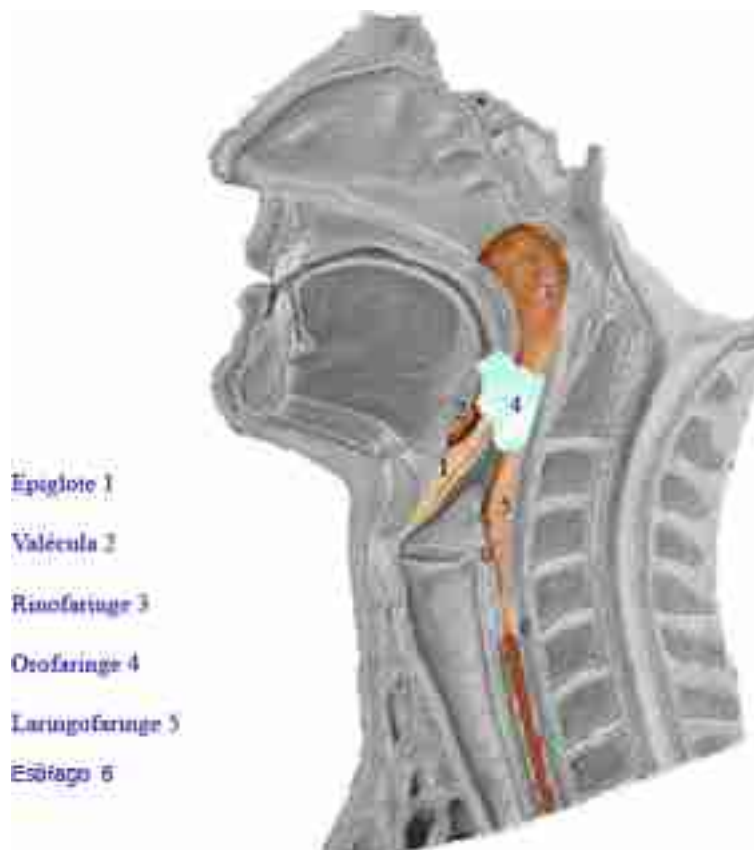


Figura 20 - Estruturas da fase faríngea e esofágica – Adaptado do Laboratório de Motilidade Digestiva - Imagem do Depto. de Anatomia da UFRJ (SILVA, 2001).

A fase esofágica

Consiste em uma onda peristáltica automática que leva o bolo alimentar para o estômago, reduzindo o risco de refluxo gastroesofágico ou a reentrada de material alimentar do esôfago para dentro da faringe. O refluxo gastroesofágico é também evitado pela contração tônica do músculo cricofaríngeo. O esfíncter esofágico superior (EES) é fechado tonicamente no repouso e aberto durante a deglutição, vômito ou eructação. As funções do EES incluem prevenção à distensão esofágica durante a respiração normal e proteção da via aérea contra a aspiração seguida de um episódio de refluxo gastroesofágico. Tem-se, na Figura 21, a localização das estruturas da fase esofágica e o esquema fisiológico do entrecruzamento do trato respiratório e digestório.

Observe que a faringe atua como um canal comum, tanto para respiração quanto para deglutição, e que as vias aéreas e alimentares se entrecruzam Figura 21 (GARDNER et al., 1978).

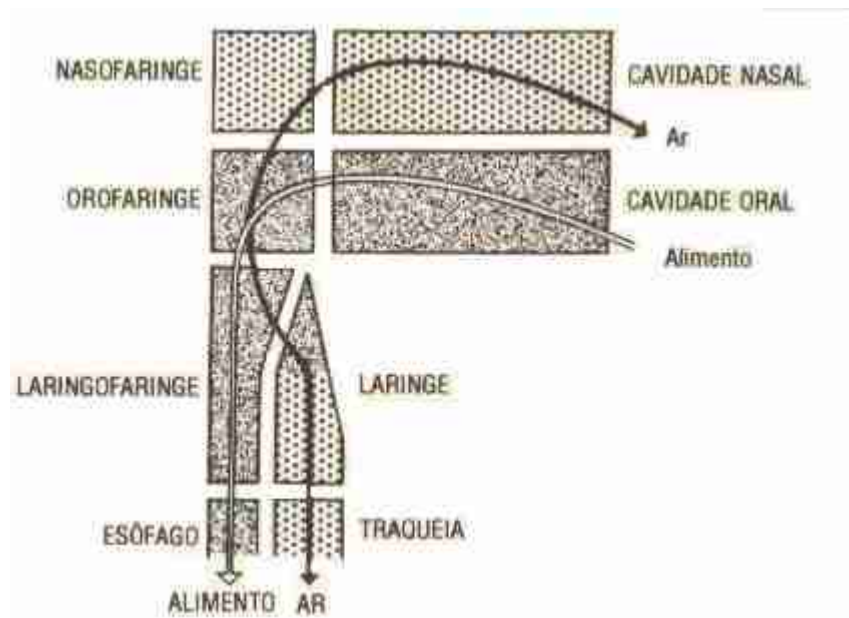


Figura 21 - Esquema das cavidades respiratória e digestiva na cabeça e no pescoço (GARDNER et al., 1978).

O controle neurológico da deglutição foi estudado por meio de eletromiografia (FURKIN; SANTINI, 1999), estudo de lesões no sistema nervoso central e periférico, remoção de músculos específicos e também por estimulação elétrica (MILLER, 1986; FURKIN; SANTINI, 1999). Tal controle envolve quatro grandes componentes (DODDS et al., 1990):

- a) fibras sensoriais aferentes contidas nos nervos encefálicos;
- b) fibras cerebrais, do mesencéfalo e cerebelares que fazem sinapse com os centros da deglutição no tronco cerebral;
- c) os pares centrais da deglutição no tronco cerebral;
- d) as fibras motoras eferentes contidas nos nervos encefálicos.

A seguir será apresentado o controle neurológico da fase oral, da fase faríngea e da fase esofágica (FURKIN; SANTINI, 1999; MARCHESAN, 1995).

Controle neurológico da fase oral

No controle motor, três nervos encefálicos possibilitam o controle eferente da fase oral da deglutição. O controle motor dos lábios, das bochechas e da boca é feito pelo nervo facial (VII), que comanda também a percepção do gosto nos dois terços anteriores da língua. Os movimentos da língua na fase oral são feitos pelo hipoglosso (XII), realizando a movimentação e a propulsão do alimento para trás. Os movimentos da mandíbula são controlados pelo trigêmeo (V), responsável pela sensibilidade da face, da boca e da língua.

Quanto ao controle sensorial, a região oral possui muitos receptores de tato e de pressão que determinam a forma, a textura e as qualidades estereognósticas do estímulo oral. A entrada sensorial é alimentada pelo trigêmeo. O paladar é estimulado pelo facial e pelo glossofaríngeo (IX). A retroalimentação sensorial periférica do palato e da faringe também ajuda os movimentos da língua na fase oral da deglutição.

Controle neurológico da fase faríngea

Controle Motor: a inervação motora dos componentes faríngeos da deglutição ocorre por meio dos seguintes pares: V, VII, IX, X e XII (Figura 19), com algumas contribuições dos segmentos cervicais C1-3.

Controle Sensorial: a inervação sensorial da fase faríngea da deglutição é controlada primeiramente pelos pares V, IX e X. A maior parte da entrada sensorial da faringe e da laringe que inicia e guia a deglutição é transmitida pelos nervos glossofaríngeo (IX) e vago (X). Sensações iniciadas na parte posterior da língua, na úvula e no palato mole são captadas pelo par craniano IX (Figura 19).

Controle neurológico da fase esofágica

Controle Motor: a fase esofágica motora da deglutição começa com a inibição simultânea de ambos os músculos estriados e lisos em toda a extensão do esôfago. Isso ocorre de cima para baixo por meio dos sinais excitatórios descendentes. Ambos os sinais, inibitórios e excitatórios, são estimulados pelo nervo vago. Os impulsos motores descendentes fazem sinapse por meio dos interneurônios da medula do tronco cerebral, que pode interagir com os núcleos corticais e subcorticais que controlam a fase faríngea da deglutição. Por intermédio dessas interações a fase esofágica pode ser modificada.

Controle Sensorial: a retroalimentação sensorial durante o peristaltismo vem pelo vago. O nervo laríngeo superior inerva o esfíncter esofágico superior e esôfago superior; o nervo laríngeo recorrente inerva o esôfago inferior. O toque na mucosa

esofágica ou pressão dos mecanorreceptores profundos podem excitar os receptores a afetar o peristaltismo esofágico. A retroalimentação sensorial do bolo alimentar em si, à medida que ele passa pelo esôfago, torna-se um componente importante na iniciação do peristaltismo esofágico.

4.1.2 Fisiopatologias

As alterações detectadas na dinâmica oral e/ou faríngea, encontradas nas disfagias orofaríngeas, sejam elas neurogênicas, mecânicas ou psicogênicas, são dependentes e/ou relacionadas com a patologia causal. Vários dos achados e disfunções orais e/ou faríngeas são comuns às diversas doenças capazes de determinar um quadro disfágico. Portanto, a avaliação do paciente como um todo é o primeiro passo da avaliação das disfagias orofaríngeas (CASTRO et al., 2000).

A avaliação da dinâmica da deglutição nos pacientes disfágicos baseia-se na observação da eficiência e do sincronismo das etapas da fase oral e faríngea.

Alterações na habilidade da deglutição pode causar disfunções nutricionais e/ou do trato respiratório. Provavelmente são causados por alterações musculares, neurológicas ou estruturais em pessoas de todas as idades (ERTEKIN et al., 1975). Para reabilitar o processo de deglutir é necessário uma identificação correta das porções afetadas. Um método aceito para analisar a disfagia orofaríngea é a videofluoroscopia. Todavia existem vários outros métodos invasivos e não invasivos (YAMAMOTO et al., 1996; BRASSEUR; DODDS, 1991; PERLMAN; GRAYHACK, 1991; REDDY et al., 1991; EKBERG, 1990; SELLEY et al., 1990; ERTEKIN et al., 1975; MACKOWIACK et al., 1967; DYSPHAGIA, 2006). Alguns destes métodos são detalhados logo abaixo.

Métodos Invasivos

- Testes sanguíneos: podem ser realizados com o intuito de evidenciar doenças infecciosas, anemias ferroprivas, e disfunções da tireóide que possam ser causas de disfagias;
- Avaliação endoscópica funcional pelo exame do FEES: é a inserção de um tubo equipado com uma câmera, posicionando-se em orofaringe, permitindo ao médico a visualização do padrão da deglutição;
- Monitoramento do pH esofágico: consiste em introduzir uma sonda através do nariz até o esôfago, onde o sensor deve ser posicionado a 5 cm do cárdia. A sonda é então unida a um dispositivo externo (gravador), que registra a acidez estomacal, quando refluída para a luz do esôfago e com pH inferior a 4;
- Manometria esofágica: é utilizada para verificar as pressões do esôfago, sendo constituída de uma sonda inserida na luz do esôfago e conectada a um registrador de pressão, permitindo avaliar as medidas das contrações do músculo do esôfago.

Métodos não Invasivos

- Videofluoroscopia: consiste de exame radiológico dinâmico em que o paciente ingere um bolo alimentar contrastado com sulfato de bário, permitindo, através da fluoroscopia, evidenciar a dinâmica da deglutição tanto das fases oral e faríngea quanto da esofágica. Também auxilia a identificar transtornos anatômicos, como estenoses e tumorações;
- Tomografia de varredura ou por imagem de ressonância magnética funcional: as imagens fornecem excelentes definições das anormalidades das estruturas. Todavia, devido ao elevadíssimo custo do exame, este é pouco utilizado;

Outros métodos usados para monitoramento da deglutição são: avaliação endoscópica da deglutição; ausculta cervical com estetoscópio; acelerômetros; eletromiografia de superfície; a ultra-sonografia da deglutição; endoscopia virtual por tomografia computadorizada com *software* de reconstrução (SANTOS; MACEDO FILHO, 2007).

Uma avaliação da morfologia e da fisiologia das cavidades oral e faríngea deve preceder qualquer um desses exames, em particular o videofluoroscópico.

4.1.2.1 Incidência

No Brasil, em estudos conduzidos com pacientes da clínica de pediatria portadores de encefalopatia, a disfunção pode acometer cerca de 80% deste universo. Em pacientes portadores de carcinomas de cabeça e pescoço, submetidos a tratamentos oncológicos tradicionais (radioterapia e quimioterapia) a incidência é de 90%. Em outros levantamentos feitos em pacientes adultos seqüelados pós-traumatismo crânio-encefálico e acidente vascular encefálico (AVC), a disfagia pode ocorrer em até 45% dos casos. Na população idosa institucionalizada, a incidência de disfagia ocorre em 60% (NETTO, 2003).

A disfagia, nos Estados Unidos, afeta em torno de 15 milhões de pessoas (LEE et al., 2006), o que representa cerca de 5% da população daquele país.

4.1.3 Videofluoroscopia da deglutição

Um crescente contingente de tecnologias está atualmente disponível para avaliar os vários aspectos da função e disfunção da deglutição. Essas tecnologias permitem a mensuração dos movimentos das estruturas nela envolvidas e da ação muscular através de aspectos espaciais e temporais. Esse contingente de tecnologia pode fornecer diferentes peças analíticas de todo o processo. A escolha dos métodos para uma determinada avaliação será particularizada para cada caso, ou objetivo, dependendo das questões clínicas envolvidas. Entre os métodos para a avaliação, monitoramento e *biofeedback* da deglutição está a videofluoroscopia (SANTOS; MACEDO FILHO, 2007).

O exame pode ser realizado em um grande número de hospitais universitários visto que, a maioria está equipado com seriógrafos para realizar o exame de forma dinâmica é só adaptar um gravador de imagens ao monitor.

A Videofluoroscopia (VFD) é um exame radiológico contrastado, considerado como padrão ouro para o estudo dinâmico da deglutição (EKBERG, 1990). Ainda, segundo Linden e Siebens (1983), a técnica videofluoroscópica é essencial para a detecção e entendimento das patologias da deglutição. O exame é realizado através da ingestão de um bolo alimentar contrastado com sulfato de bário, mostrando o transporte alimentar ou movimento do bolo alimentar através do trato digestório alto. Dessa forma, é um valioso método para análise da fisiologia da deglutição e seus desvios. A VFD é realizada nas incidências lateral (LA) e anterior-posterior (AP), em posição ortostática

(em pé) (EKBERG, 1990). A Figura 22 exibe uma imagem do processo da deglutição e na Figura 23 é apresentado um aparelho de videofluoroscopia.



Figura 22 – Imagem obtida pela videofluoroscopia.

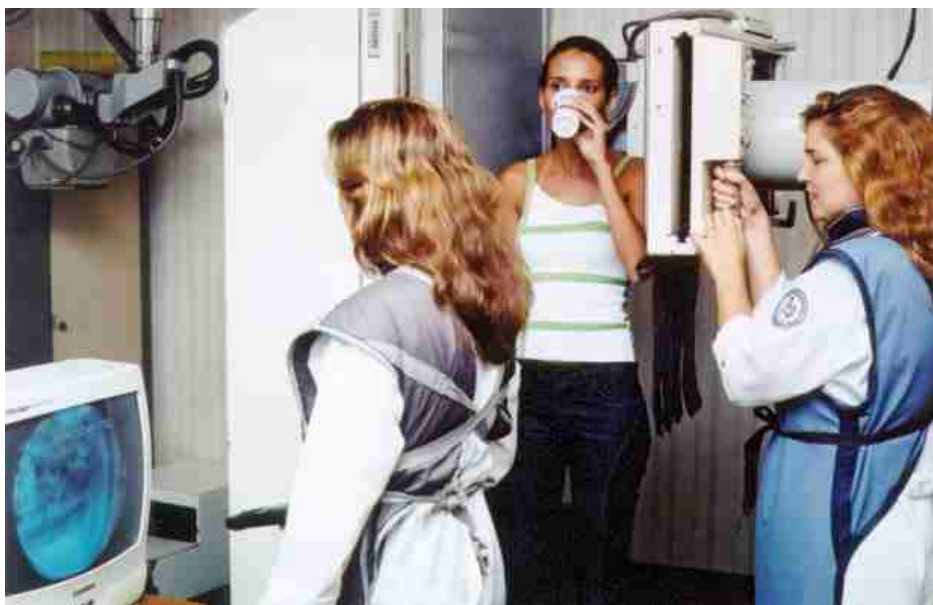


Figura 23 - Aparelho de Videofluoroscopia (SANTA RITA JORNAL, 2007).

Normalmente, a obtenção dos intervalos de tempos de deglutição ocorre através da marcação manual do tempo da fase do exame sob análise, tal marcação se dá utilizando um aparelho de VideoCassete e/ou *DVD* para a análise do exame produzido. Uma grande dificuldade deste processo é a identificação do evento específico para

diagnóstico, sendo muito cansativo/trabalhoso a tarefa de rebobinar a fita cassete ou percorrer o *DVD* para se identificar o ponto exato para a marcação (início e término do processo). Acrescentando-se a esta dificuldade, tem-se também o incômodo de anotar os tempos inicial/final e o cálculo do intervalo de tempo de forma manual, podendo incorrer em erros por parte do operador. Estes erros certamente comprometerão o diagnóstico.

4.1.4 Informática para deglutição

A Tabela 4 sumariza alguns algoritmos e *software* existentes no mercado ou publicados na literatura, que atuam no sentido de auxiliar a análise e diagnósticos das disfunções da deglutição.

Tabela 4 - Artigos com técnicas e *software* de análise da deglutição.

<i>Software*</i>	Características	Estrutura	<i>Hardware e Software</i> necessários e/ou usados	Problemas	Validação	Resultados
Contour Tracking. (CHANG et al., 1999).	Ajudar na análise clínica, na visualização dos processos da deglutição com a reconstrução tridimensional do bolo alimentar.	Algoritmo K-SNAKE	Não há descrição.	Assume que em todos os exames o volume do bolo alimentar é o mesmo, possui as mesmas propriedades e o posicionamento da cabeça do paciente se mantém constante.	É feita através da comparação gráfica dos resultados obtidos com o sistema e o resultado manual da análise.	A utilização do sistema possibilita um processamento 5 vezes mais rápido do que o feito manualmente com praticamente a mesma precisão do exame manual.
Boing Graph (EKBERG et al., 1989).	Analisa em detalhes a atividade motora da parede da faringe, no que concerne ao deslocamento da mesma durante a deglutição.	Utilização de videofluoroscopia e contraste de bário. Simulação da contração da faringe.	Utilização de Computador <i>Desktop IBM</i> "computador básico".	Exclusivamente uma única parte da atividade da faringe é analisada e exibida neste estudo.	Descreve apenas três outros exames semelhantes; não comparando diretamente nenhum item específico entre eles e este artigo.	É mostrado que o sistema funciona. Não há quantização da eficiência.
CLA Technique (DANBOLT et al., 1999).	É uma tentativa de padronização para uma análise computacional da faringe, possuindo validação de métodos não invasivos para detecção da deglutição.	Um sensor de superfície é colocado acima da laringe, captando os sinais e repassando-os ao programa.	Não há descrição.	Esta técnica é incapaz de distinguir entre um processo de deglutição e o movimento da região orofaríngea.	Foram realizadas 20 deglutições aleatórias e em todas, o sistema detectou a deglutição. Todavia, não foi estabelecido um grau de comparação entre o sistema e uma análise manual (com porcentagem de acerto e tempo preciso).	Esta técnica identifica características padrões na deglutição.
AMOMC (CHEN et al., 2001).	Mede o movimento da fase oral da deglutição, e a trajetória do bolo alimentar nesta fase.	Utilização de marcadores posicionados nos dentes.	Linguagem <i>Visual C++ 5.0</i> , plataforma <i>Windows NT 4.0</i> , <i>software SAVANT imaging toolkit</i> .	Dificuldades na visualização. Para o funcionamento do sistema são necessários marcadores e estes são confundidos com o contraste de bário na conversão das imagens, para manipulação pelo sistema. Elevada complexidade na inserção dos marcadores nos pontos necessários ao exame. <i>Software SAVANT imaging toolkit</i> .	Comparação manual e automática (usando o sistema) mostrou um elevado grau (não quantizado) de correspondência entre os procedimentos.	O resultado encontrado pelo sistema é praticamente o mesmo do processo manual, todavia, não é mencionado uma comparação de tempos entre o processo manual e mecânico.
Tradução da deglutição Computacionalmente (SILVA, 2001).	Apresenta seqüência animada da dinâmica dos eventos morfofuncionais das fases oral e faríngea da deglutição, de forma interativa. <i>SOFTWARE DIDÁTICO</i> .	Descrição teórica e visual de fases da deglutição.	<i>Software</i> didático desenvolvido em plataforma interativa "Macromedia".	Impossibilidade de processamento de uma nova imagem e/ou situação para análise. Não faz análise de imagens apenas mostra exemplo de situações específicas.	Descreve apenas outras formas de ensino texto/gravuras; não comparando diretamente nenhum item específico entre eles.	É apresentado que o sistema funciona. Não há quantização da eficiência.
VIDEOMED (MOTILIDA DE DIGESTIVA, 2006).	Permite calcular as dimensões lineares (largura, altura) e áreas do bolo alimentar, e os tempos de cada fase da deglutição.	Utilização de videofluoroscopia e contraste de bário.	Mínimo de um <i>Pentium 233</i> , Placa de captura de alto porte e com placa <i>SCSI</i> .	<i>Hardware</i> muito específico para o funcionamento.	Não há comparação direta com outro sistema.	É mostrado que o sistema funciona. Não há quantização da eficiência.

*Na literatura consultada não consta o preço dos *software*.

Continua

Continuação

<i>Software*</i>	Características	Estrutura	<i>Hardware e Software necessários e/ou usados</i>	Problemas	Validação	Resultados
Aspiration detection (LEE et al., 2006).	Permite diagnosticar aspiração orofaringefaríngea através de sinais vibratórios, de forma não invasiva (sensores). Objetivo: estabelecer critérios para diagnosticar uma deglutição com e sem aspiração.	Videofluoroscopia. Sensor de Movimento (vibrações do pescoço). Classificação através de aproximações obtidas por padrões característicos.	<i>Biopac, model MP100.</i> acelerômetro (<i>EMT-25C, Siemens</i>), sensor amplificado (AD1881A), microcontrolador (ADSP 21160M), Memória (M29W040B, <i>St. Microelectronics</i>).	Medidor de Aceleração, que exige aparelho específico. Sistema de detecção complexo.	Desempenho medido através de comparações entre os resultados alcançados e aqueles característicos já obtidos na literatura.	Em torno de 80% de acerto em 100 exames, comparado com método de análise manual.
Conclusão Geral	Percebe-se que os sistemas construídos são muito específicos, analisando partes da deglutição, e não o processo com um todo.	Utilização predominante de videofluoroscopia, incluindo sensores de superfície, aliados à processamento de sinais.	Comumente não ocorre o detalhamento do <i>hardware</i> utilizado; um “computador padrão” atenderia os sistemas. Em alguns casos, captos e <i>software</i> específicos são utilizados.	Em geral os problemas encontrados são relativos à implementação do sistema focado, em particular em termos de <i>software/hardware</i> específico e da complexidade. Imprecisões na análise geral ou em partes da deglutição.	O sistema de validação é feito por comparações entre métodos manuais e mecânicos. 40% dos artigos realizaram comparações.	Em geral bom funcionamento, precisão semelhante a métodos tradicionais quando feita comparação, porém sempre mais rápidos.

*Na literatura consultada não consta o preço dos *software*.

4.1.5 Proposta de trabalho

O interesse pelo estudo da dinâmica da deglutição cresceu muito nos últimos anos. A aplicação da informática poderá tornar os métodos de estudo mais práticos e mais acessíveis, estimulando consideravelmente sua utilização tanto na pesquisa - ajudando a entender melhor a fisiopatologia de várias disfagias orofaríngeas - como na prática médica diária, através de uma ferramenta que auxilie de maneira efetiva no diagnóstico das disfagias (FURKIN; SANTINI, 1999; EKBERG, 1990; ERTEKIN et al., 1975).

Conforme mostra a última linha da Tabela 4, os sistemas já existentes não analisam globalmente o processo de deglutição; priorizam o uso da videofluoroscopia; muitas vezes se valem de *software/hardware* específico; gerando resultados mais rapidamente que a metodologia clássica. Apenas o trabalho (MOTILIDADE DIGESTIVA, 2006) trata da medida dos intervalos de tempos de deglutição.

Consequentemente, motivado pelas tendências do estudo e da clínica do sistema de deglutição; e levando-se em conta o panorama geral descrito no parágrafo anterior; apresenta-se a seguir a proposta e o desenvolvimento de um sistema informático para estimação do intervalo de tempo de deglutição, baseado em videofluoroscopia, que se vale de uma plataforma ao mesmo tempo comum e genérica (flexível).

O programa, baseado no processamento de imagens e na visualização computacional (CHEN et al., 2001), visa prioritariamente ampliar o leque de opções do profissional em disfagia, fornecendo uma maneira objetiva de conhecer os intervalos de tempos de deglutição em cada fase do processo, ou seja, permitindo calcular o intervalo de tempo gasto nas fases oral, faríngea e esofágica. Este sistema será referido, a partir deste ponto, como Sistema Protótipo de Vídeo-Análise da Deglutição (SPVAD).

4.2 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Esta seção descreve o processo de construção do *software* proposto neste trabalho. Inicialmente é necessário um pré-processamento dos arquivos gerados a partir do exame videofluoroscópico, implementando uma conversão de formato de arquivo. Em seguida, tal

conversão permite o uso de uma plataforma baseada em *Matlab (The MathWorks, Inc.)*, que realiza processamento de imagens, possibilitando a contagem dos intervalos de tempos.

4.2.1 Escolha dos programas conversores

O pré-processamento dos arquivos é executado nas seguintes fases ou etapas.

- a) FASE 1: Conversão do exame videofluoroscópico, gravado em arquivo com formato .VOB, para o formato .AVI;
- b) FASE 2: Eliminação do canal de áudio do arquivo .AVI, gerando um arquivo .AVI sem áudio, pronto para o processamento de imagens.

Na conversão do formato .VOB para o formato .AVI (FASE 1), analisou-se os aplicativos abaixo:

- a) *TMPEGenc* (RIZZO et al., 2006): *shareware*, funciona somente 30 dias;
- b) *AoA DVD Ripper* (MELOSO et al., 2006): *shareware*, executado normalmente por apenas 30 dias, com no máximo 10 minutos de processamento por arquivo;
- c) *DVD2AVI* (RIZZO et al., 2006): *freeware*, não possui restrições de uso;
- d) *WinAVIVideoConverter* (KONVERTIERUNG, 2006): apresentou boa economia de recursos, em especial um baixo tempo de processamento.

Como resultado, os *software DVD2AVI* e *WinAVIVideoConverter* foram escolhidos.

No que concerne a eliminação do canal de áudio (FASE 2), analisaram-se os programas abaixo (MELOSO et al., 2006):

- a) *GXTranscoder*, que requer *.NetFramework*, sobrecarregando o sistema;
- b) *Sony Vegas*, necessita de *.NetFramework* e é utilizável por apenas 30 dias, por ser *shareware*;
- c) *VirtualDub*, é *freeware* e não possui limitação de uso;
- d) *Zwei-Stein*, é *freeware*.

Foram selecionados os *software* do tipo *freeware*, uma vez que podem ser utilizados sem restrições para a continuidade do trabalho.

Em seguida, foi necessário estabelecer critérios de escolha entre cada um dos dois *software* selecionados para as duas etapas da conversão (*DVD2AVI* ou

WinAVIVideoConverter, para a conversão em *.AVI*; *VirtualDub* ou *Zwei-Stein*, para a eliminação do canal de áudio). Os critérios estipulados foram: mínimo tempo de processamento, mínima ocupação de memória durante o funcionamento, mínimo tamanho dos arquivos iniciais e finais. Estes critérios permitem, portanto, a comparação de desempenho para se definir um *software* que melhor satisfaça o compromisso entre mínimo tempo de processamento e mínima ocupação de memória, tendo em vista o desenvolvimento do aplicativo SPVAD. O gráfico ideal para ocupação de memória (OM) por tempo de processamento (TP), ilustrado pela Figura 24, corresponderia à junção do menor TP (abscissa) com a menor OM (ordenadas).

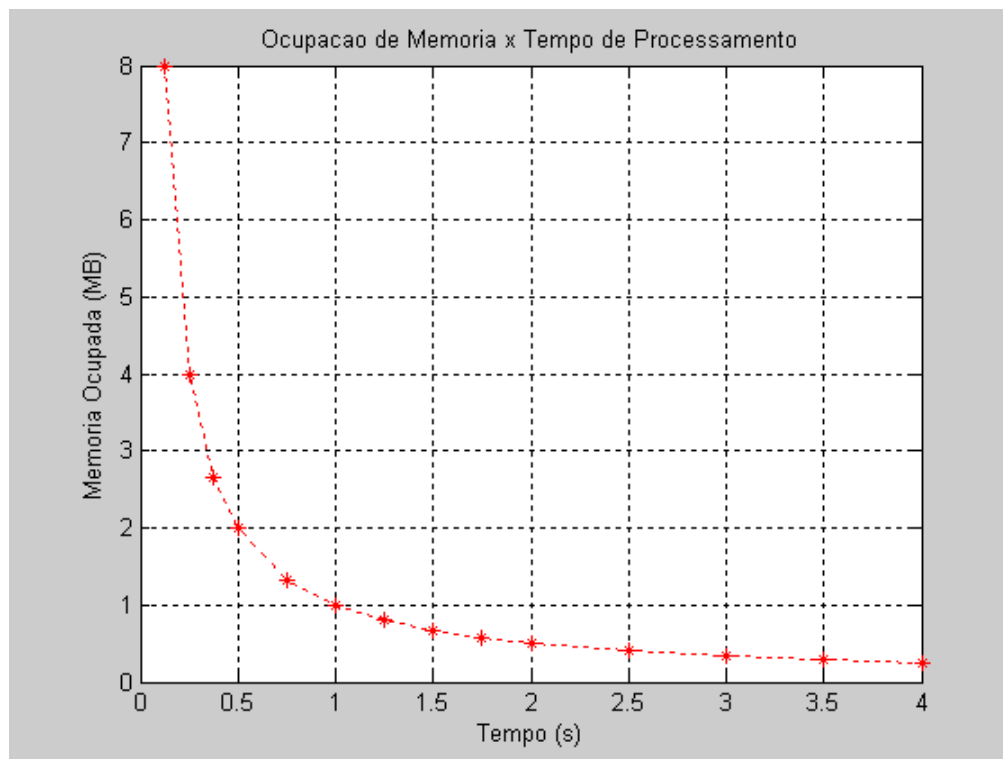


Figura 24 - Gráfico ideal na conversão de formato.

Com este objetivo em mente, foram analisados os seguintes *software* como possíveis candidatos para a sistemática de medidas.

- a) *Cool Beans System Info* (DOWNLOAD, 2006): exibe o consumo de memória apenas por gráficos, dificultando a quantificação da análise por números;
- b) *DN Sys Info* (SOFTSEA, 2006): requer *.NetFramework*, o que sobrecarrega o sistema operacional;

c) *Ram Status* (DELPHINO, 2006): fornece algebricamente a ocupação de memória e o tempo de processamento, aumentando a precisão das medidas.

Desta forma, optou-se pelo *software Ram Status* para as medidas da ocupação de memória e o tempo de processamento, sendo que este foi usado tanto nas medidas da FASE 1 quanto nas medidas da FASE 2. Considerou-se cinco arquivos de entrada .VOB para os testes, possuindo os seguintes tamanhos: 128, 129, 222, 492 e 751 *megabytes*, sendo estes arquivos, nesta ordem, os exames 0 (128), 2 (129), 1 (222), 4 (492), 3 (751), sendo ambos apresentados na Tabela 5.

Deste modo, visando esclarecer o processamento em cada etapa, foram utilizadas várias tabelas para comparação entre os aplicativos/*software* empregados. Após cada tabela, é construído o gráfico da respectiva amostra, com objetivo de facilitar a escolha final. Assim, temos na FASE 1, a conversão de formato .VOB para o formato .AVI, cujas avaliações seguem logo abaixo nas Tabelas (5 e 6) e nos gráficos das Figuras 25 e 26.

Tabela 5 - Ocupação de Memória x Tempo de Processamento – *Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI*. Vide Figura 25.

Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>WinAVI-VideoConverter</i>	Memória Ocupada (MB)	196,666	178,333	175,132	182	178,500	182,126
<i>WinAVI-VideoConverter</i>	Tempo de Processamento(s)	67	75	98	220	354	162,800
Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>DVD2AVI</i>	Memória Ocupada (MB)	184,857	174	168,238	176,666	176,270	176,007
<i>DVD2AVI</i>	Tempo de Processamento(s)	128	145	161	476	707	323,400

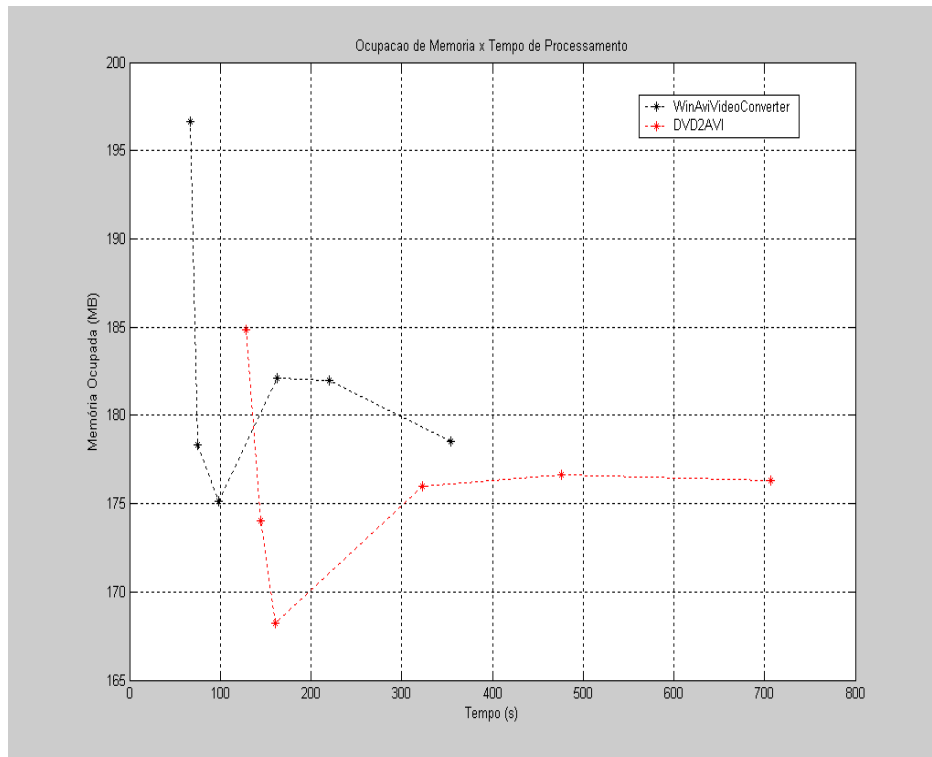


Figura 25 - OM x Tempo – Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI.

Tabela 6 - Tamanho de Arquivo Inicial x Final - Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI. Vide Figura 26.

Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
Software							
WinAVIVideoConverter	Tamanho arquivo Inicial (MB)	128	129	222	492	751	344,400
	Tamanho arquivo Final (MB)	5,02	10,5	14,9	21,8	36,9	17,824
Fator de Variação*		25,498	12,285	14,899	22,568	20,352	19,322
Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
Software							
DVD2AVI	Tamanho arquivo Inicial (MB)	128	129	222	492	751	344,400
	Tamanho arquivo Final (MB)	3,70	6,96	14,1	15,9	25	13,132
Fator de Variação*		34,594	18,534	15,744	30,943	30,04	26,226

Fator de Variação*: Tamanho do arquivo inicial dividido pelo tamanho do arquivo final.

De modo geral, percebe-se que o *software WinAVIVideoConverter* apresenta a melhor opção em relação ao tempo de processamento (TP), uma vez que o mesmo apresentou TP médio menor do que aquele do *software DVD2AVI*, considerando uma mesma ocupação de memória. Por outro lado, para um mesmo tempo de processamento, os gráficos da Tabela 5 e Figura 26 indicam que o *WinAVIVideoConverter* ocupa uma maior quantidade de memória, apresentando portanto pior desempenho.

Analisando o tamanho do arquivo final após a conversão do formato .VOB para o formato .AVI, concluiu-se que o *software DVD2AVI* apresentou melhor desempenho, produzindo o arquivo final com menor tamanho em relação àquele produzido pelo aplicativo *WinAVIVideoConverter*.

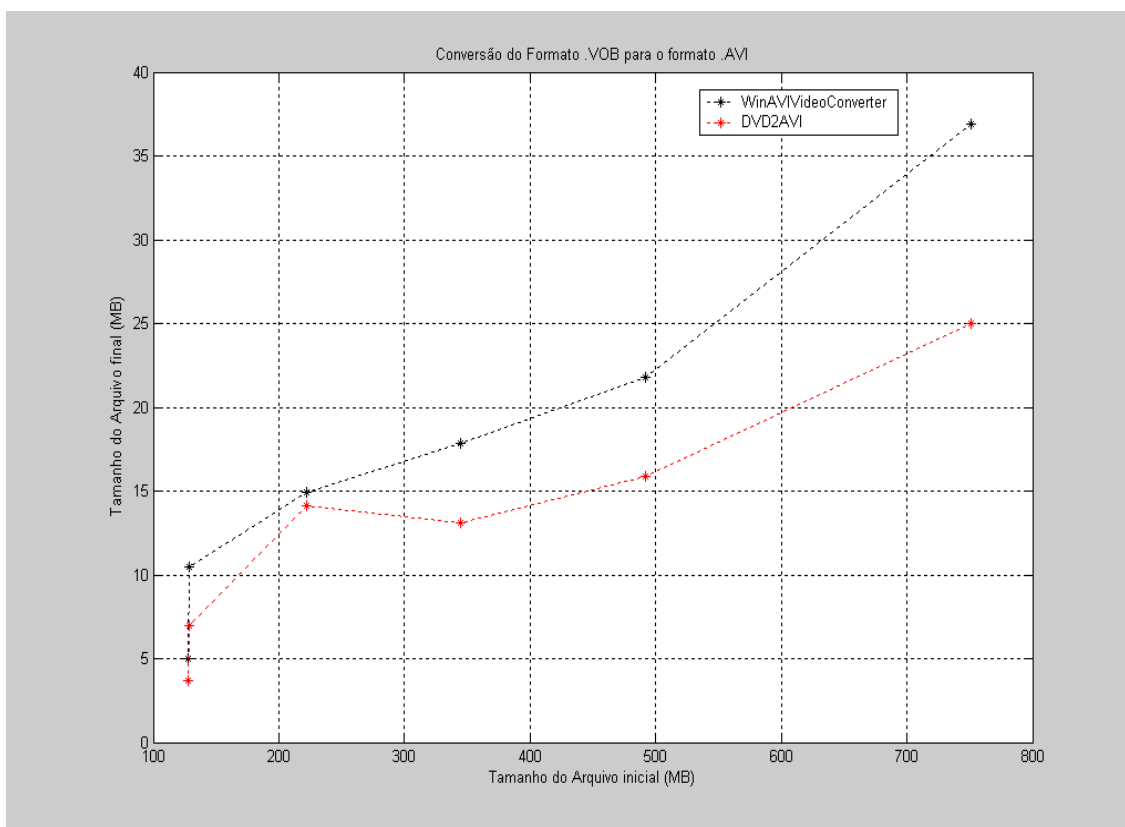


Figura 26 - Tamanho do Arquivo Final x Tamanho do Arquivo Inicial – *Software: WinAVIVideoConverter e DVD2AVI*.

Dessa forma, é notório que a escolha do *software* a ser utilizado deve ser baseada em algum critério: menor tempo de processamento, menor arquivo final ou menor ocupa-

ção de memória. Caso a opção de escolha priorize o tempo de processamento mínimo, deve-se utilizar o aplicativo *WinAVIVideoConverter*. Todavia, caso a opção de escolha vise o menor consumo de memória, o *software DVD2AVI* seria o aplicativo escolhido.

Pode-se inferir dos dados exibidos acima que, no quesito TP, o *software WinAVIVideoConverter* é o mais eficiente; Todavia, no quesito memória ocupada o aplicativo *DVD2AVI* é o mais eficiente; já no quesito geração de menor arquivo final o mais eficiente é novamente o *software DVD2AVI*. Tendo em vista que TP não é uma exigência primordial no contexto da aplicação desta dissertação, pois o exame de videofluoroscopia não é geralmente utilizado em urgências médicas, então o *software DVD2AVI* é o aplicativo mais eficiente, considerando o conjunto de quesitos. Dessa forma, para o processamento final, será utilizado o *software DVD2AVI* como aplicativo escolhido para a conversão de formato .VOB para .AVI. A seguir, analisa-se o desempenho dos *software* candidatos à conversão de formato preconizada na FASE 2, ou seja, realizando a eliminação do canal de áudio. O formato de estudo/análise persiste da mesma forma, com tabelas e gráficos obtidos em cada processamento (Tabelas 7 e 8; Figuras 27 e 28).

Tabela 7 - Ocupação de Memória x Tempo de Processamento – *Software:VirtualDub e Zwei-Stein*. Vide Figura 27.

Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>Virtual-Dub</i>	Memória Ocupada (MB)	177,176	173,375	177,848	171,513	174,703	174,923
<i>Virtual-Dub</i>	Tempo de Processamento(s)	670	690	2447	3125	3840	2154,400
Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>Zwei-Stein</i>	Memória Ocupada (MB)	182,598	170,638	183,593	177,583	179,336	178,750
<i>Zwei-Stein</i>	Tempo de Processamento(s)	2850	3340	6616	9223	12010	6807,800

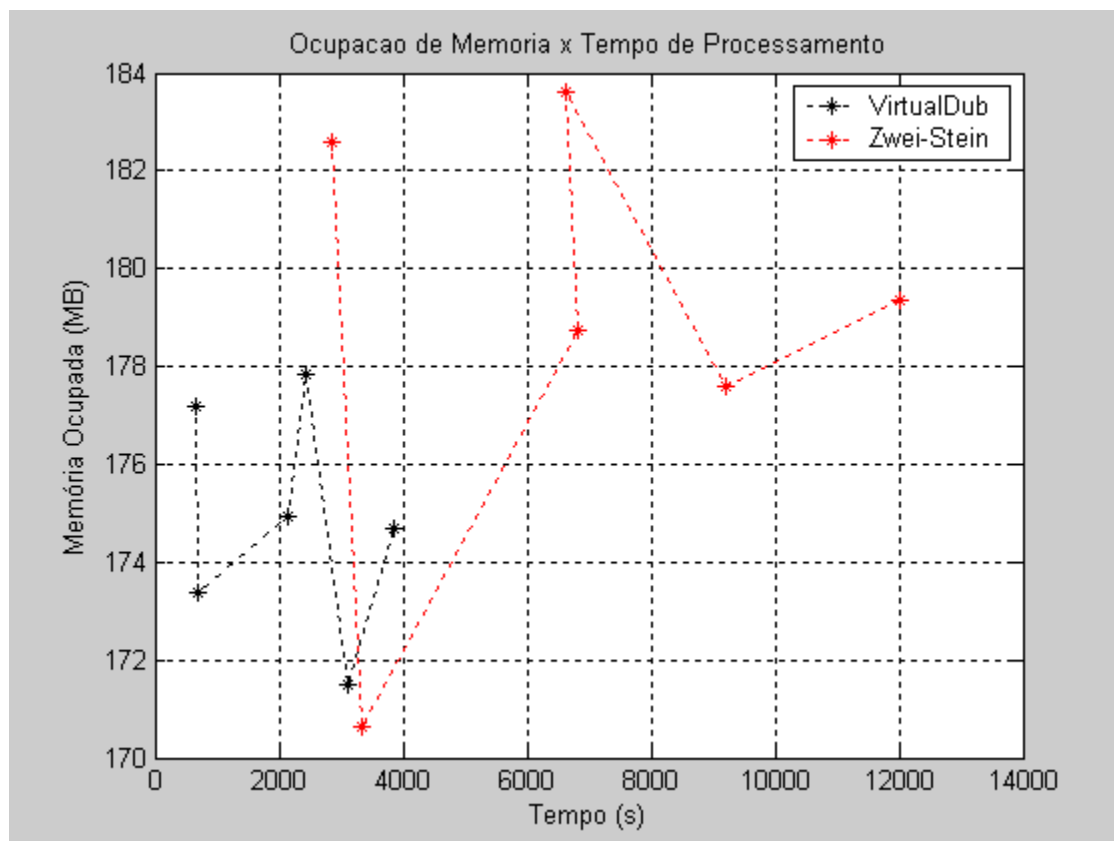


Figura 27 - Ocupação de memória x tempo – *Software: VirtualDub e Zwei-Stein.*

Tabela 8 - Tamanho de Arquivo Inicial x Final - *Software: VirtualDub e Zwei-Stein.*

Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>VirtualDub</i>	Tamanhoarquivo Inicial (MB)	3,70	6,96	15,90	22,70	25	14,852
	Tamanhoarquivo Final (MB)	21,8	38,60	90,30	125	131	81,34
Fator de compressão*		5,892	5,546	5,679	5,507	5,240	5,477
Exames		0	2	1	4	3	Valor Médio
<i>Software</i>							
<i>Zwei-Stein</i>	Tamanhoarquivo Inicial (MB)	3,70	6,96	15,90	22,70	25	14,852
	Tamanhoarquivo Final (MB)	65,8	80	184	250	259	167,76
Fator de compressão*		17,784	11,494	11,572	11,013	10,36	11,295

Fator de compressão*: Tamanho do arquivo final dividido pelo tamanho do arquivo inicial.

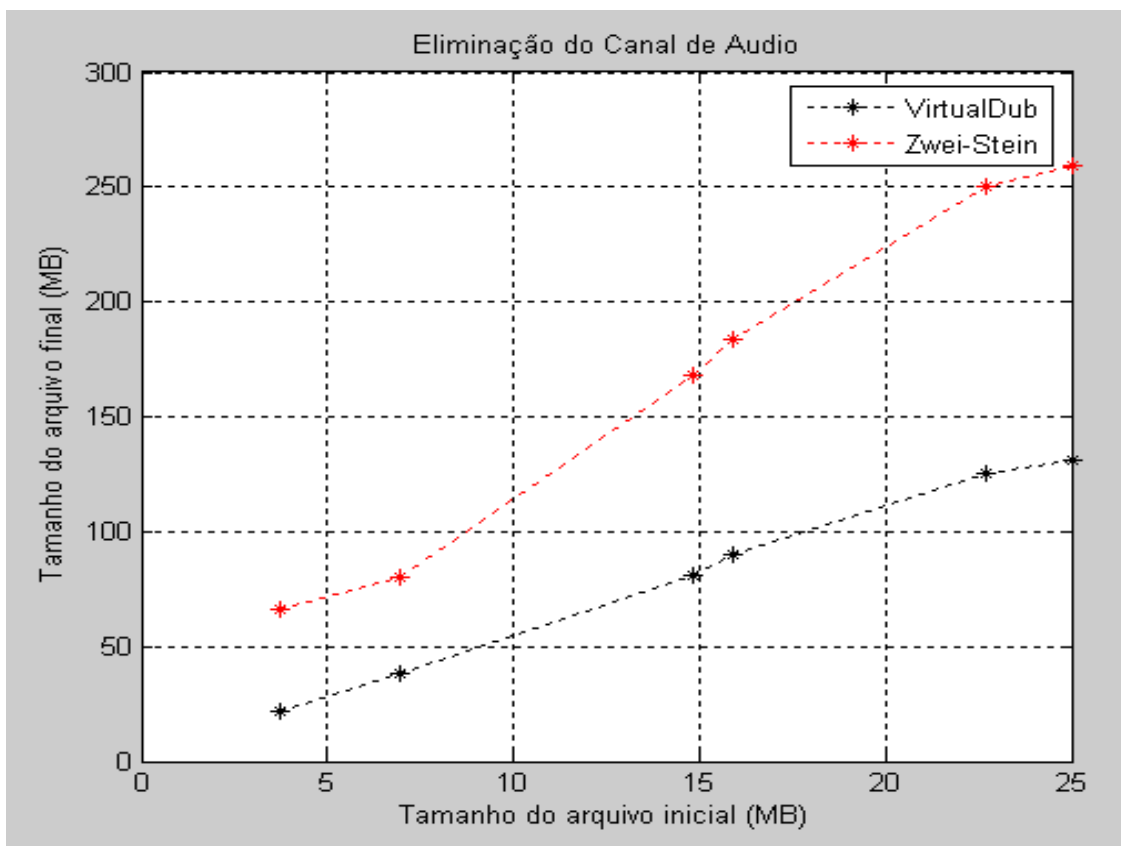


Figura 28 - Tamanho do Arquivo Final x Tamanho do Arquivo Inicial na eliminação do canal de áudio – *Software: VirtualDub e Zwei-Stein.*

Analisando-se a quantidade de memória ocupada durante o processo de remoção do canal de áudio, percebe-se que o *software Zwei-Stein* apresentou um consumo médio de cerca de 5 *megabytes* acima do consumo apresentado pelo aplicativo *VirtualDub*. Com base na Tabela 7, o valor médio de memória ocupada pelo *software Zwei-Stein* é maior que o respectivo valor para o *VirtualDub*.

Em outro aspecto, analisando o tamanho do arquivo final, o programa *Zwei-Stein* gerou arquivos com pelo menos o dobro do tamanho daqueles provenientes do *VirtualDub*, conforme pode ser constatado pela Figura 26 e pelos valores médios da Tabela 7. Com relação ao tempo de processamento, o *VirtualDub* foi no mínimo duas vezes e meia mais rápido do que o *Zwei-Stein* (exame 1, Tabela 7), e conforme mostra o exame 2 da Tabela 7 (melhor caso para o *VirtualDub*), é quase 5 vezes mais rápido. De fato, a partir da Figura 27, para uma mesma ocupação de memória, o tempo de processamento do *VirtualDub* é menor que aquele do *Zwei-Stein*.

O aplicativo *VirtualDub* é capaz de produzir quadros de saída exatamente do mesmo formato dos quadros de entrada e com a mesma taxa de quadros por segundo; sendo o programa *Zwei-Stein* incapaz de reproduzir tal característica, gerando apenas alguns formatos já pré-estabelecidos: 160x120, 320x240, 400x300, 480x360, 640x480, 800x600, 720x576, etc (onde o primeiro número indica o comprimento medido em pixels e o segundo, indica a largura em pixels) e com algumas taxas de quadros por segundo já pré-configuradas (1, 2, 5, 10, 15, 20, 24, 25, 30).

Assim sendo, percebe-se que o *software VirtualDub* apresenta o melhor desempenho em relação à quantidade de memória ocupada, ao menor tempo de processamento e no tamanho do arquivo final gerado. Conseqüentemente, por todas as razões acima discutidas o aplicativo *VirtualDub* supera em larga escala o *Zwei-Stein*, sendo portanto escolhido para a etapa de processamento associada a eliminação do canal de áudio.

Descreve-se a seguir o projeto da plataforma que, finalmente, com ajuda de técnicas de processamento de imagens, realiza a contagem dos intervalos de tempos da deglutição.

4.2.2 Protótipo da Plataforma

4.2.2.1 Aspectos Específicos

4.2.2.1.1 Metodologia

De modo sucinto, buscando-se construir um protótipo dentro dos padrões técnicos de programação, realizou-se a análise para a modelagem e construção do aplicativo. As Figuras 29 e 30 mostram os diagramas do projeto.

Diagrama do Contexto

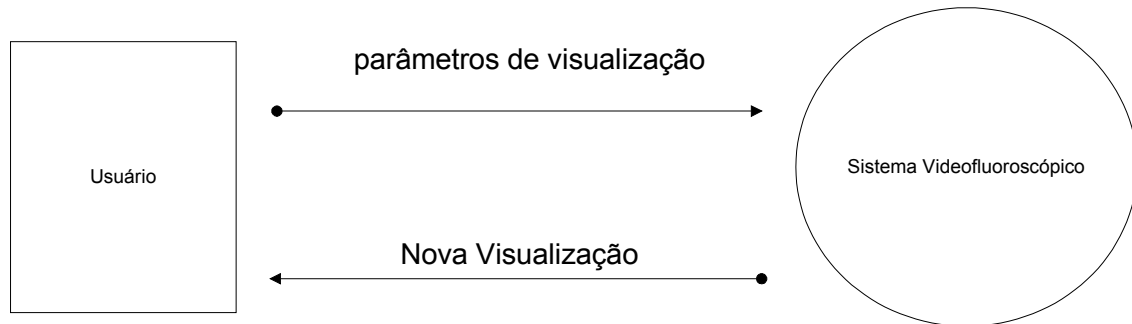


Figura 29 - Diagrama do Contexto.

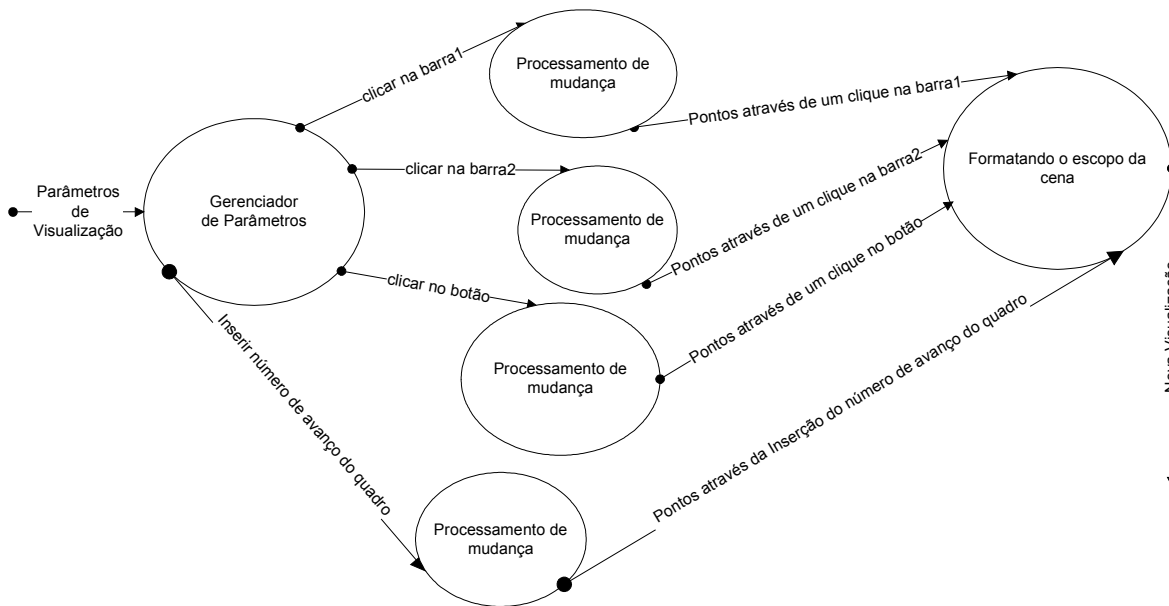


Figura 30 - Diagrama de Transição de Estados.

Tem-se, então, a descrição do dicionário de eventos: parâmetros de visualização (clicar na barra 1, clicar na barra 2, clicar no botão, inserir número de avanço de quadros ou *frames*); nova visualização: imagem alterada, gerada pelo sistema após as opções escolhidas pelo usuário do sistema.

Com a especificação da modelagem acima, o protótipo foi construído. O programador iniciou a elaboração do sistema, primeiramente, com a construção da chamada

de leitura do arquivo (em formato .AVI sem o canal de áudio). Em seguida, após o conhecimento dos processos de avanço e recuo de quadros ou *frames*, implementou-se as funções de gerenciamento destes processos e após esta etapa, passou-se a elaboração e refinamentos dos controles da parte gráfica do sistema.

O protótipo necessita de, no mínimo, um computador com processador de 600 MHz, com 256 MB de memória RAM, e placa de vídeo com 16 MB; ou um outro computador compatível com esta descrição.

4.2.2.2 Aspectos Gerais do funcionamento do protótipo

O programa processa o arquivo .AVI (sem áudio) de entrada, separando-o em unidades menores quadro a quadro (*frame a frame*), possibilitando a visualização quadro a quadro ou de 10 em 10 quadros – onde cada clique do mouse percorre 10 quadros/*frames*. Adicionalmente, é possível a navegação no exame em qualquer quantidade de *frames* que o usuário possa solicitar, bastando para isso que o operador do sistema faça uma entrada com a quantidade de *frames* desejada, somando-se à posição atual onde o sistema se encontra.

O aplicativo SPVAD é constituído de um arquivo, que é o programa principal, e algumas chamadas a funções, as quais se encontram em outros arquivos. Como uma descrição simplificada do funcionamento do sistema, tem-se (vide APÊNDICE B):

- a) O programa principal (Protótipo) é o responsável pela primeira leitura do arquivo inicial ou arquivo que esteja na entrada; sendo este o primeiro que será apresentado/exibido ao usuário;
- b) Após a leitura do arquivo de entrada, o programa principal chama a Função 1 (AtualizaImagemSlider), que é responsável pela geração do modo gráfico;
- c) Em seguida o sistema faz uma chamada a Função 2 (AtualizaImagemValor), a qual tem a finalidade de atualizar os dados, ou seja, os quadros que estão sendo exibidos no monitor;
- d) Por conseguinte, novamente o programa principal efetua uma chamada, neste momento a função 3 (AtualizaButton), que atualiza os botões que estão sendo exibidos (quadro inicial, quadro final, número de entrada para o posicionamento do quadro);

e) A Função 4 (LeituraArquivo) tem a atribuição de efetuar a leitura do próximo arquivo que será carregado para processamento.

A Figura 31 apresenta o processamento de um arquivo, sendo o objetivo central a apresentação da interface do sistema ao usuário.



Figura 31 - Tela do SPVAD.

4.2.2.3 Sistemática de uso

Objetivando elucidar os passos para a análise de imagens médicas, esquematiza-se o sistema de processamento do SPVAD como um todo. A seqüência cronológica dos procedimentos e eventos para o funcionamento do sistema está apresentada logo abaixo.

Passo I - Inicialmente, tem-se um arquivo que foi gerado pelo *software* de aquisição *Default* do *DVD recorder* (que esta conectado ao aparelho de videofluoroscopia), resultante de um exame videofluoroscópico. Este aplicativo gera um arquivo com o canal de áudio habilitado, mesmo não possuindo os cabos acoplados ao equipamento.

Passo II - Necessita-se de um arquivo no formato .AVI sem a presença do canal de áudio e sem *plug-ins* de compactação.

Passo III - Para todo o processo de conversão de arquivos e processamento, necessita-se da utilização de alguns *software*, bem como a cópia de algumas *DLL's*.

Passo IV - Este arquivo sem áudio (.AVI) será processado por um programa construído no *software MATLAB*.

Estas etapas de funcionamento do SPVAD serão ilustradas e detalhadas a seguir.

Inicialmente, discutem-se os Passos I, II, III.

Observação: Os programas e as *dll's* que serão mencionados a seguir encontram-se no CD em anexo. Serão utilizados também alguns *codecs*, estes são aplicativos auxiliares que trabalhando acoplados a outros *software* (no caso *DVD2AVI*, *VirtualDub*), auxiliando a leitura e/ou gravação de arquivos em variados formatos diferentes.

1 – Copiar as *dll's*: *d3d9.dll*, *msdmo.dll*, *wmvc core.dll* para a pasta C:\WINDOWS\system32 (no Windows XP) ou c:\WINNT\system32 (no Windows 2000).

2 – Instalar os seguintes *software*, que consistem em *codecs*:

- *Indeo 5*.
- *DivX*.
- *Xvid*.
- *k-Lite Mega Codec Pack 1.53* -não selecionar nenhum arquivo ou *plug-ins* para ser removido durante o processo de instalação.
- *VirtualDub Family*.
- *WinToAvi*.

3 – Inicializar o *Software DVD2AVI*.

Passo 1, ir no *menu File => Open video file ... =>* selecionar o local no qual foi gravado o arquivo .VOB (Exemplo: Meus Documentos\VTs_01_1.VOB) e depois clicar *ADD* e acrescentar o arquivo (Exemplo: Meus Documentos\VIDEO_TS.VOB) e clicar em *OK*.

Passo 2, ir no *menu Video* => e configurar os seguintes elementos:

IDCT ALGORITHM -> *32 bits sse mx*;

Field Operation -> *None*;

Color Space -> *rgb 24 bits*;

YUV RGB -> *PC Scale*.

Passo 3, ir no *menu Audio* => e configurar os seguintes elementos:

Track Number-> *Track 1*;

Output Method -> *Demux All Track*;

Dolby digital decode -> *Dynamic range control* -> *normal*;

48 -> 44.1 KHz -> *Off*;

Passo 4, ir no *menu Option* => e configurar os seguintes elementos:

Process Priority ->> *Hign*;

Local Language -> *Default*;

Passo 5, ir no *menu File* => e selecionar *Save .AVI*. Especificar o local onde deseja-se salvá-lo (Exemplo: Meus Documentos) e dar o nome ao arquivo e clicar em *Salvar*.

4 – Inicializar o *Software VirtuaDub Family*.

Passo 1, ir no *menu File* => *Open video file* => selecionar o local no qual foi gravado o arquivo *.AVI* (Exemplo: Meus Documentos).

Passo 2, ir no *menu Audio* => e selecionar *No audio*.

Passo 3, ir no *menu File* => e selecionar *Save as .AVI*. Especificar o local onde deseja-se salvá-lo (Exemplo: Meus Documentos).

A partir de agora, será detalhado o passo V de funcionamento do SPVAD.

No SPVAD, inicialmente tem-se a seguinte tela do sistema (Figura 32).

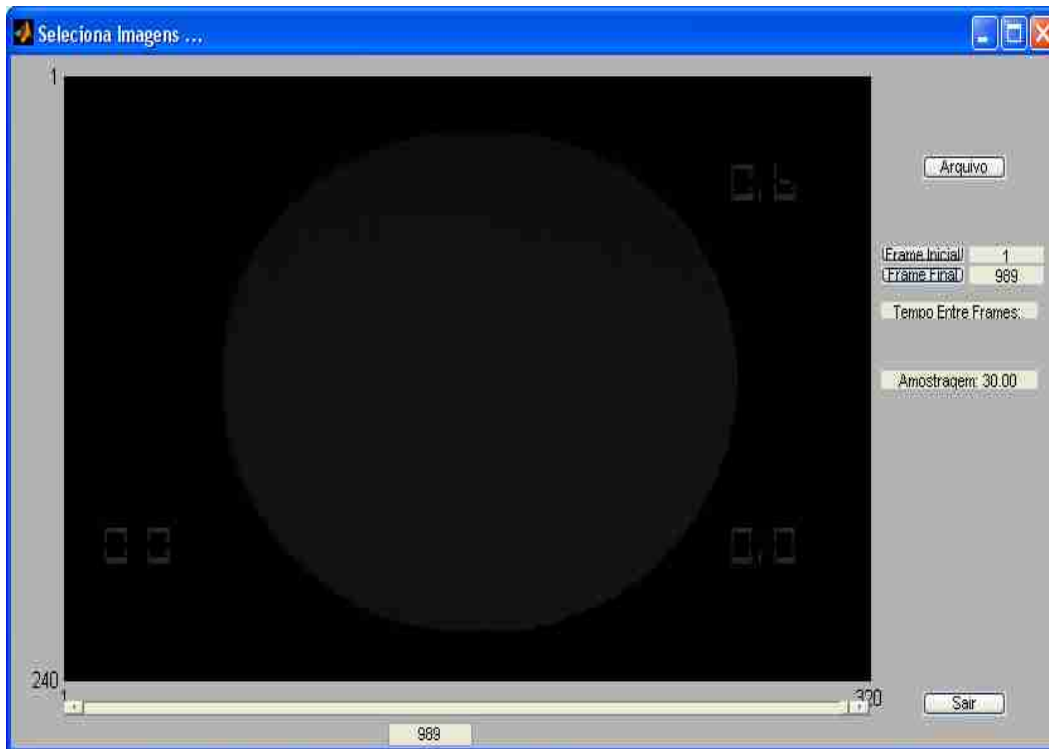


Figura 32 - Tela inicial do SPVAD.

Para a abertura do arquivo para processamento, basta o usuário clicar no botão “arquivo”, escolher e selecionar o arquivo desejado, em seguida clicar em “abrir”. Após esta etapa, o arquivo (exame) estará pronto para análise/pesquisa e geração dos intervalos de tempos desejados. Dessa forma, ao percorrer/visualizar o exame, ao se encontrar o ponto que delimita o início do intervalo de tempo para análise, basta ao operador clicar no botão “frame inicial” o sistema armazena o quadro inicial, conforme pode ser observado na Figura 33. Esta apresenta a interface do sistema em seguida à seleção.



Figura 33 - Tela seleção inicial do SPVAD.

Por conseguinte, resta apenas, neste momento, efetuar a seleção do quadro final para o cálculo do intervalo de tempo, o que é exibido na Figura 34, na parte superior direita.



Figura 34 - Tela seleção final do SPVAD.

Vale salientar que, em qualquer momento da análise, pode-se mudar o *frame* inicial e/ou o final, uma vez que o protótipo refará automaticamente os cálculos e reportará o valor correspondente.

4.3 APLICAÇÃO DA PLATAFORMA À VIDEOFLUOROSCOPIA

4.3.1 Introdução

Nesta seção descreve-se a validação da plataforma desenvolvida através de um experimento clínico.

4.3.2 Objetivos do experimento

- Realizar mensurações em indivíduos normais, tentando-se caracterizar o estado de uma deglutição normal .
- Mensurar os intervalos de tempos de deglutição através do SPVAD

4.3.3 Metodologia e Protocolo

4.3.3.1 Processamento Computacional

Foi construído um *software*/sistema utilizando a plataforma de desenvolvimento *MATLAB 6.5 MathWorks, Inc.*, sistema operacional *Microsoft Windows 2000*, em um computador *Athlon XP 2000+* com 768 MB de memória RAM, placa de vídeo de 64 MB e disco rígido de 40 GB. O sistema trabalhou juntamente com os *software* de conversão dos arquivos no formato de aquisição das imagens (.VOB) para o formato (.AVI), o qual foi processado no sistema construído na plataforma de desenvolvimento *MATLAB*. Os *software freeware* foram analisados e testados para garantir o melhor desempenho em relação à qualidade, tempo de processamento e tamanho final do arquivo gerado.

Em um estado final, o sistema foi capaz de decompor o vídeo produzido durante o exame em quadros (imagens ou *frames*), que foram exibidos e analisados, quadro a quadro, ou em uma quantidade variável, dependendo apenas da necessidade que o usuário operador do sistema considerou adequado.

4.3.3.2 Em Humanos

Foram realizadas videofluoroscopia da deglutição – estudo dinâmico da deglutição em 15 voluntários, de ambos os sexos, com idades entre 20 e 40 anos. Foram excluídos os indivíduos com história de doença respiratória, gastroentestinal, otorrinolaringológica em uso de prótese dentária móvel e má formações de laringe, faringe e esôfago. O protocolo de exclusão foi aplicado pelo profissional que realizou os exames videofluoroscópicos, sendo detalhado no APÊNDICE C.

Todos os voluntários foram informados sobre o intuito da pesquisa e assinaram o termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE D). Este protocolo foi analisado e aceito pelo comitê de ética da UFU (APÊNDICE E).

Os exames foram realizados no Serviço de Radiologia do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU), sob a responsabilidade da fonoaudióloga Patrícia Portela Flores, utilizando o seriógrafo *MEDX-SOS*, ano 1992. As imagens foram gravadas em DVD pelo gravador de *DVDR Philips*, modelo 3355, *stereo*, Brasil, ano 2006.

O protocolo foi cumprido em tempo médio de 7 minutos e a radiação à qual o voluntário foi exposto, considerando o custo/benefício é significativamente baixa. Os

valores típicos de DAP (produtos da dose X aérea) observados durante avaliações da Videofluoroscopia da deglutição com análise de suas 3 fases (oral, faríngea e esofágica) é de $4101 \pm 881 \text{ cgy.cm}^2$, sendo o valor típico da taxa de DAP para as 2 primeiras fases (oral e faríngea) é de $577 \pm 94 \text{ cgy.cm}^2/\text{min}$, para indivíduos com média de altura de 1,57 m com média de peso de 56 kg.

O exame foi realizado com a captação de imagens em incidência perfil LA, estando o indivíduo em posição ortostática. Foi oferecida dieta padronizada na consistência líquida, em seringa, para posterior avaliação no SPVAD.

A relação do alimento para o contraste foi de 30%, sendo essa a concentração mínima para uma boa imagem das estruturas e da dinâmica orofaríngea. O contraste utilizado foi o Sulfato de Bário (Bário em Pó 100%, Laboratório Henrifarma, São Paulo). O Sulfato de Bário foi ingerido nas quantidades de 10 mL, 20 mL e 30 mL, sendo o exame avaliado em tempo real e quadro a quadro a uma taxa de 30 *frames* por segundo, impedindo a análise de atividades/eventos que ocorram em intervalos menores que 33 milissegundos (1/30 segundo). Esta limitação é determinada pelo seriógrafo em uso.

A obtenção dos dados videofluoroscópicos transcorreu da seguinte maneira. Primeiramente, foi gerado um formulário para diagnóstico das capacidades físicas dos voluntários, após verificada a aptidão inicial dos mesmos (via *checklist* – APÊNDICE C) pela profissional da área.

A geração dos exames foi efetuada, estando os voluntários eretos em ângulo de 90° e recebendo, através de uma seringa, uma quantidade de 10 mL de alimento líquido baritado. Permanecendo com o alimento na boca, ligou-se o aparelho e durante a deglutição foram gravadas as imagens. Em seguida, foi ofertada uma quantidade de 20 mL ao voluntário, repetindo-se o mesmo processo de trabalho mencionado anteriormente; finalizando esta etapa, seguiu-se o mesmo procedimento com uma quantidade de 30 mL. Foram anotados dados relativos aos pacientes (idade, sexo, peso, altura).

A análise foi feita nas fases oral e faríngea, com a obtenção dos intervalos de tempos para os seguintes parâmetros.

A) Trânsito Oral: Após a organização do bolo contrastado e, a partir da movimentação ejetória da língua, inicia-se a contagem do intervalo de tempo até a passagem do bolo contrastado para a orofaringe.

B) Trânsito Faríngeo: Com a chegada do bolo contrastado à orofaringe, inicia-se a contagem do intervalo de tempo deste ponto até a passagem do bolo pela zona angustuada do cricofaringe.

4.3.3.3 Tratamento dos dados

Devido à ampla disponibilidade de configuração nos *software* utilizados na etapa 4.3.2.3, houve uma elevada carga de trabalho para se estabelecer um protocolo de análise computacional. Como um exemplo desta diversidade, cita-se a enorme quantidade de *plug-ins* de compactação que o *software Zwei-Stein* fornece ao se eliminar o áudio em um arquivo *.AVI*. Tais *plug-ins* possuem configurações que podem fornecer várias outras opções no modo de configuração e utilização dos mesmos. Dessa forma, a sistematização de trabalho com os aplicativos intermediários no processo de adequação dos arquivos para manipulação no *MATLAB* demandou uma carga árdua de testes e refinamentos.

A manipulação dos arquivos no SPVAD é feita através da leitura do arquivo pelo aplicativo e a *bufferização* do sistema, permitindo deste modo a navegação e a marcação nos processos de avanço ou recuo dos quadros no exame, independentemente da ordem manipulada. O programa permite assim que o usuário pré-defina seus parâmetros.

4.3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Finda a etapa de produção das imagens radiológicas, os *dvd's* contendo as imagens das rotinas médicas foram convertidos do formato *.VOB* para *.AVI*, utilizando-se o *software DVD2AVI*. Seqüencialmente, através do aplicativo *VirtualDub*, foi eliminado o canal de áudio dos referidos arquivos. Posteriormente, foram delimitados os quadros desejados pelo profissional responsável do HCU, sendo este processamento realizado no Laboratório de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica.

As Tabelas 9-12 resumem os principais resultados dos intervalos de tempos de cada fase da deglutição dos exames de fluoroscopia, após serem processados pelo SPVAD.

Tabela 9 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição, informe geral com e sem fracionamentos ao longo de todos os exames.

Ficha	Idade (anos)	Sexo (M/F)	Peso (Kg)	Altura (m)	FO*			FF**		
					(a,b,c)			(a,b,c)		
					a	b	c	a	b	c
					Intervalos de Tempos (s)					
01	35	M	78	1,75	0,567	0,30	0,433	0,30	0,30	0,367
02	41	M	83	1,74	0,733	1,133	0,733	0,333	0,667	1,0
							0,667			1,10
							0,433			0,60
03	39	M	80	1,78	1,03	0,467	0,533	0,233	0,267	0,533
04	37	M	82	1,72	0,40	0,60	0,30	0,30	0,367	0,333
05	23	M	63	1,80	1,0	0,7	0,60	0,80	0,867	0,667
06	35	M	120	1,79	1,17	0,533	1,20	0,6	1,333	0,333
07	23	M	85	1,84	0,867	0,633	0,667	0,30	0,667	0,567
						0,50	0,767		0,767	
08	20	M	52	1,63	0,333	0,50	0,633	0,567	0,770	0,767
09	29	M	81	1,78	1,067	0,567	0,433	0,633	0,533	0,30
						0,30	0,50		0,433	0,60
						0,333	0,567			
10	31	F	71	1,67	0,267	0,30	0,30	0,467	0,333	0,267
						0,40	0,333		0,467	0,40
						0,267	0,40			
11	29	F	54	1,61	0,40	0,333	0,70	0,50	0,467	0,60
12	20	F	48	1,57	0,333	0,467	0,767	0,40	0,467	0,30
							0,467			0,40
13	21	M	77	1,73	0,30	0,567	0,40	0,333	0,533	0,30
							0,433			0,567
14	35	M	78	1,65	0,30	0,50	0,833	0,367	0,467	0,533
							0,30			0,30
15	24	M	85	1,75	0,433	0,367	0,367	0,40	0,333	0,267
						0,60	0,367		0,30	0,433
					0,333		0,467	0,367		0,467
					0,167	0,433		0,267	0,467	

Onde interpreta-se:

FO*: Fase Oral; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL. FF**: Fase Faríngea; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL.

Observação: O fracionamento na quantidade a ser deglutida (10, 20 ou 30 mL) implica na divisão dos intervalos de tempos em cada processo. Assim a deglutição ocorre nos tempos: 1; 1, 2; 1, 2, 3 ou 1, 2, 3, 4. As colunas da Tabela 10 ilustram o mecanismo.

Tabela 10 - Intervalo de tempo de deglutição por fase sem e com fracionamento.

FO* ou FF** (30 mL)				
Intervalos de Tempos (s)				
Ficha X	1	1	1	1
		2	2	2
			3	3
				4

Tabela 11 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição SEM a ocorrência de fracionamentos.

Ficha	Idade (anos)	Sexo (M/F)	Peso (Kg)	Altura (m)	FO* (a,b,c)			FF** (a,b,c)		
					a	b	c	a	b	c
					Intervalos de Tempos (s)					
01	35	M	78	1,75	0,567	0,30	0,433	0,30	0,30	0,367
03	39	M	80	1,78	1,03	0,467	0,533	0,233	0,267	0,533
04	37	M	82	1,72	0,40	0,60	0,30	0,30	0,367	0,333
05	23	M	63	1,80	1,0	0,70	0,60	0,80	0,867	0,667
06	35	M	120	1,79	1,17	0,533	1,20	0,60	1,333	0,333
08	20	M	52	1,63	0,333	0,50	0,633	0,567	0,770	0,767
11	29	F	54	1,61	0,40	0,333	0,70	0,50	0,467	0,60
MG:	31,143		75,571	1,726	0,700	0,490	0,628	0,471	0,624	0,514
DP:	7,313		23,165	0,077	0,354	0,141	0,285	0,204	0,389	0,174

Onde interpreta-se:

FO*: Fase Oral; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL. FF**: Fase Faríngea; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL. MG = Média Geral e DP = Desvio Padrão.

Tabela 12 - Voluntários por intervalo de tempo de deglutição com médias onde se tem fracionamentos.

Ficha	Idade (anos)	Sexo (M/F)	Peso (Kg)	Altura (m)	FO* (a,b,c)			FF** (a,b,c)		
					a	b	c	a	b	C
					Intervalos de Tempos (s)					
02	41	M	83	1,74	0,733	1,133	0,733	0,333	0,533	1,0
						0,767	1,067		0,667	1,10
							0,433			0,60
07	23	M	85	1,84	0,867	0,633	0,667	0,30	0,667	0,567
						0,50	0,767		0,767	0,767
09	29	M	81	1,78	1,067	0,567	0,433	0,633	0,533	0,30
						0,30	0,50		0,433	0,60
							0,333			0,567
10	31	F	71	1,67	0,267	0,30	0,30	0,467	0,333	0,267
						0,40	0,333		0,467	0,40
							0,267			0,40
12	20	F	48	1,57	0,333	0,767	0,467	0,40	0,467	0,30
						0,467				0,40
13	21	M	77	1,73	0,30	0,40	0,567	0,333	0,533	0,30
							0,433			0,567
14	35	M	78	1,65	0,30	0,50	0,833	0,367	0,467	0,533
							0,30			0,30
15	24	M	85	1,75	0,433	0,367	0,367	0,40	0,333	0,267
							0,367			0,433
						0,60			0,30	
					0,333		0,467			0,467
						0,167	0,433	0,367	0,267	0,467
MG:	28,00		76,00	1,716	0,515	0,519	0,508	0,400	0,483	0,505
DP:	7,387		12,247	0,084	0,296	0,236	0,213	0,100	0,148	0,226

Onde interpreta-se:

FO*: Fase Oral; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame ; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL. FF**: Fase Faríngea; (a, b, c): quantidade de sulfato de bário em de cada exame; a = 10 mL, b = 20 mL, c = 30 mL. MG = Média Geral e DP = Desvio Padrão.

Observação: O valor apresentado de um paciente refere-se à média realizada sobre os respectivos intervalos de tempos de deglutição da Tabela 9, levando-se em consideração o fracionamento.

Com base nos resultados das Tabelas 9-12 pôde-se observar que os intervalos de tempos médios de duração da fase oral estão situados na faixa de 0,490-0,700 segundos, com desvio padrão entre 0,141-0,354; enquanto que os intervalos de tempos médios de duração da fase faríngea variam de 0,400-0,624 segundos, com desvio padrão entre 0,100-0,389; para o caso de 7 pacientes que deglutiram sem fracionamento. Estes resultados correspondem a uma tentativa de se estabelecer valores médios de duração do intervalo de tempo de deglutição de indivíduos normais, caracterizando um “padrão normal de deglutição”.

Todavia, deve-se ressaltar que, do ponto de vista do conhecimento atual da gastroenterologia, não existe um padrão definido de deglutição fisiologicamente adaptada, associada a uma situação clínica “normal”. Conseqüentemente, os resultados das Tabelas 9-12 e os comentários do parágrafo anterior podem ser considerados como descrições iniciais do “padrão de normalidade”.

Na utilização do protótipo observou-se a facilidade de operação do sistema, uma vez que o arquivo com as imagens pôde ser processado em todas as direções (avanço ou recuo) e em qualquer momento do exame, de acordo com a necessidade do usuário.

O protótipo SPVAD é bastante flexível em sua utilização, estando habilitado a exibir o exame videofluoroscópico em várias opções de seleção:

- a) Pode-se clicar no botão na barra horizontal e percorrer *frame a frame*;
- b) Para um deslocamento de 10 em 10 *frames*, basta clicar na barra horizontal na região livre de botões;
- c) É possível inserir o número do *frame* que se deseja atingir e clicar <enter>;
- d) Por último, é possível clicar na barra horizontal e ir percorrendo o exame de forma aleatória no avanço/recuo de *frame*.

Em resumo, os resultados apresentados demonstram claramente a viabilidade da contagem precisa do intervalo de tempo de deglutição de imagens fluoroscópicas através do SPVAD, incluindo detalhes ligados ao fracionamento do bolo alimentar.

4.4 CONCLUSÕES

De acordo com a literatura, os programas computacionais existentes para o auxílio ao médico não realizam a estimação dos diversos intervalos de tempos de deglutição, utilizam plataformas computacionais específicas, e geram resultados tão precisos quanto os métodos clássicos de análise, porém de forma muito mais rápida.

No processamento das imagens geradas no exame de videofluoroscopia pelo SPVAD, o *software DVD2AVI* foi o aplicativo mais eficiente na conversão dos dados do arquivo *DVD default* (formato .VOB) para o formato .AVI, considerando os quesitos memória ocupada e tamanho do arquivo final. Com relação à retirada do canal de áudio do arquivo .AVI foi escolhido o aplicativo *VirtualDub* em função da quantidade de memória ocupada, menor tempo de processamento e tamanho do arquivo final gerado. Uma vez dimensionada a etapa de pré-processamento, através da escolha de conversores que otimizam o compromisso entre mínimo intervalo de tempo de processamento e mínima ocupação de memória; desenvolveu-se um processo de análise de imagens, permitindo a estimação dos intervalos de tempos de deglutição; o que foi validado através de um experimento clínico.

Conclui-se que o SPVAD fornece ao usuário os intervalos de tempos gastos nas fases oral, faríngea e esofágica do processo de deglutição, incluindo detalhes ligados ao fracionamento, economizando esforço manual na contagem dos intervalos de tempos das referidas fases e na separação das imagens fornecidas pela videofluoroscopia. O estudo clínico conduzido possibilita a tentativa de definição de “um padrão normal de deglutição”, cujos tempos médios de duração das fases oral e faríngea correspondem, respectivamente, a 0,490-0,700 segundos e a 0,400-0,624 segundos (sem fracionamento).

O sistema permite que o usuário escolha seus parâmetros livremente – como por exemplo, na marcação de uma etapa qualquer, escolhendo onde a mesma se inicia e finaliza. Tanto os *software* utilizados quanto o *hardware* não são específicos à tarefa desempenhada pelo SPVAD.

Para o aprimoramento do protótipo observou-se a necessidade da criação de um banco de dados para armazenamento das informações geradas durante o uso do SPVAD, informações estas que poderiam ser acessadas novamente para um possível refinamento

e/ou para uma melhor avaliação do diagnóstico. Outro fator extremamente benéfico à expansão do sistema, seria a utilização de um outro equipamento coletor de imagens (seriógrafo mais moderno) que obtivesse dados a uma resolução maior do que a de 30 quadros por segundo, sendo esta uma limitação do aparelho utilizado. Há aparelhos mais modernos como os angeógrafos que apresentam taxa de 60 frames por segundo e já contam com gravadores de DVD mas são encontrados somente em alguns hospitais universitários e em sua maioria, não disponíveis para a realização das VFD.

5 CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação abordou o uso da computação gráfica aplicada à Engenharia Biomédica com enfoques no ensino de Neurociências e a construção de uma ferramenta de apoio ao estudo da deglutição.

Inicialmente, focando a educação interdisciplinar em Neurociências, buscou-se implementar plataformas que contribuíssem no aprendizado de conceitos biofísicos da neurotransmissão, enfoque Neuroanatômico sem representação com a descrição clínica. No primeiro caso, o *software* permite pontos de vistas diferentes, incluindo uma visão geral da estrutura inteira do neurônio, detalhes específicos das microestruturas, como dendritos e canais iônicos. A plataforma é de baixo custo, exige uma configuração simples de computador (no mínimo, um computador 486 DX4 com 32 MB de memória RAM, ou um outro computador compatível com esta descrição) e inclui possibilidade de conexão para programas em *html*. No segundo caso, tentou-se manter o aspecto tridimensional da proposta, todavia dificuldades ligadas ao espaçamento de fatias de peças anatômicas reais impediram que a meta inicial fosse alcançada. Decidiu-se então reformular o projeto, a partir da implementação de um atlas bidimensional, baseado em fotos reais, cujo acesso é independente de *Internet*, podendo, todavia, ser disponibilizado via *web*.

Finalizados os trabalhos descritos no parágrafo anterior, decidiu-se aplicar a computação gráfica à gastroenterologia, no que concerne a contagem precisa dos intervalos de tempos de deglutição. De acordo com a literatura, os programas computacionais existentes não realizam a estimativa destes diversos intervalos de tempos, utilizam plataformas específicas, e geram resultados tão precisos quanto os métodos clássicos de análise, porém de forma muito mais rápida. Buscando superar estas limitações, desenvolveu-se uma plataforma denominada SPVAD, que exige pré-processamento, em termos de conversão de formato de arquivo, seguida de tratamento em *Matlab* através de técnicas da computação gráfica. Uma vez dimensionada a etapa de pré-processamento, através da escolha de conversores que otimizam o compromisso entre mínimo tempo de processamento e mínima ocupação de memória; desenvolveu-se um processo de análise de imagens, permitindo a estimativa dos intervalos de tempos de deglutição; o que foi validado através de um experimento clínico.

Conclui-se que o SPVAD fornece ao usuário os intervalos de tempos gastos nas fases oral, faríngea e esofágica do processo de deglutição; definindo-se “um padrão normal de deglutição”, cujos intervalos de tempos médios de duração das fases oral e faríngea correspondem, respectivamente, a 0,490-0,700 segundos e a 0,400-0,624 segundos (sem fracionamento). O sistema permite que o usuário escolha seus parâmetros livremente – como por exemplo, na marcação de uma etapa qualquer, escolhendo onde a mesma se inicia e finaliza. Tanto os *software* utilizados quanto o *hardware* não são específicos à tarefa desempenhada pelo SPVAD, contrariamente ao que se observa na literatura.

As principais perspectivas para a continuidade deste trabalho são apresentadas logo abaixo:

- Em termos do neurônio tridimensional, deve-se refinar a proposta através da inclusão de mais organelas, como por exemplo as células gliais; bem como a simulação total do processo de neurotransmissão;

- Em termos do atlas neuroanatômico, deve-se procurar incorporar visualizações tridimensionais, bem como realizar testes pedagógicos para averiguar seus problemas e vantagens;

- Em termos da plataforma SPVAD, deve-se automatizar o processo de tratamento dos arquivos de imagens, de forma a evitar que o usuário necessite de fazer manualmente conversões de formato de arquivo antes da utilização do aplicativo desenvolvido em linguagem *Matlab*. Pode-se tentar também refinar as técnicas da computação gráfica, de forma a se refletir numa contagem automatizada dos intervalos de tempos de deglutição;

- Deve-se também comparar os resultados obtidos com um método clássico (manual) de contagem. Além mais, poderia também converter a programação de *Matlab* para uma outra linguagem que otimizasse ainda mais o processamento do protótipo;

- Em relação ao equipamento utilizado, buscar encontrar um aparelho que conseguisse obter imagens/dados do exame a uma taxa superior a 30 quadros por segundo, sendo esta uma limitação específica do aparelho coletor de imagens utilizado;

- Buscar utilizar aparelhos mais modernos como os angeógrafos que apresentam taxa de 60 frames por segundo e já contam com gravadores de DVD;

- Do ponto de vista clínico, deve-se tentar um estudo em pacientes, no intuito de se aplicar o SPVAD. Por exemplo, no contexto de uma população acima de sessenta (60)

anos, deve-se fazer deglutograma com contagem dos intervalos de tempos, comparando-se estes dados com a espirometria. Isto permitirá discutir a possível correlação existente entre disfunção pulmonar e aquela deglutatória;

- Aprofundar o estudo da técnica de modelagem orientada a objeto, mais especificamente a plataforma UML, no intuito de refinar o projeto informático dos *software* desenvolvidos.

Referências

ANATOMIST, Digital Interactive Atlases. **Digital Anatomist Project**. Disponível em: <<http://www9.biostr.washington.edu/da.html>> Acesso em: 20 mar. 2007.

ANATOMY, 3D. **Modelos anatômicos em 3D**. Disponível em: <<http://www.anatomium.com>> Acesso em: 20 mar. 2007.

ANNENBERG MEDIA LEARNER. **Rediscovering biology: molecular to global perspectives**. Disponível em: <<http://www.learner.org/channel/courses/biology/units/neuro/images.html>>. Acesso em: 10 abr. 2006.

AMORETTI, M. S. M. Protótipos e estereótipos: aprendizagem de conceitos. Mapas conceituais: experiência em educação à distância. **Informática na Educação: teoria e prática**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 49-55, 2001.

AUSUBEL, N. H. **Psicologia educacional**. 2. ed. São Paulo: Interamericana, p. 13-21, 1980.

BARDAKJIAN, B. L. Nonlinear system identification of hippocampal neurons. In: MARMARELIS, V. Z. (Ed.). **Advanced Methods of Physiological Systems Modeling**. New York: Plenum Press, v. 3, p. 179-194, 2003.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002. 855 p.

BERGER, T. W.; BAUDRY, M.; BRINTON, R. D.; LIAN, J. S.; MARMARELIS, V. Z.; PARK, Y.; TANGUAY, A. R. Brain-Implantable biomimetic electronics as the next era in neural prosthetics. **Proceedings of the IEEE**, Special Issue on Neuroengineering, v. 89, n. 7, p. 993-1012, 2001.

BOA SAÚDE. **Transtornos na deglutição**. Disponível em: <<http://boasaude.uol.com.br/lib/showdoc.cfm?LibDocID=3546&ReturnCatID=1769>>. Acesso em: 16 mar. 2007.

BOEREE, C. G. **The neuron**. Disponível em: <<http://www.ship.edu/~cgboeree/theneuron.html>>. Acesso em: 02 mar. 2006.

BRASSEUR, J. G.; DODDS, W. J. Interpretation of intraluminal manometric measurements in terms of swallowing mechanics. **Dysphagia**, New York, v. 6, p. 100-119, 1991.

CARPENTER, M. B. **Neuroanatomia humana**. 7. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978. 700 p.

CASTRO, L. P.; ROCHA, P. R. S.; MELO, J. R. C.; COSTA, M. M. B. **Tópicos em gastroenterologia - Deglutição e disfagia**. Rio de Janeiro: Medsi, 386 p, 2000.

CHANG, M. W.; LIN, E.; HWANG, J. N. Contour tracking using a knowledge-based algorithm to construct three-dimensional pharyngeal movement. **Dysphagia**, New York, v. 14, p. 219-227, 1999.

CHEN, Y.; BARRON, J. L.; TAVES, D. H.; MARTIN, R. E. Computer measurement of oral movement in swallowing. **Dysphagia**, New York, v. 16, p. 97-109, 2001.

COSTA, M. M. B.; NOVA, J. L. L; CARLOS, M. T; PEREIRA, A. A.; KOCH, H. Videofluoroscopia. Um novo método. **Revista Brasileira de Radiologia**, São Paulo, v. 25, p. 11-18, 1992.

COSTA, M. M. B.; MONTEIRO, J. S. Exame videofluoroscópico das fases oral e faríngea da deglutição. In: COSTA, M. M. B.; CASTRO, L. P. **Tópicos em deglutição e disfagia**. Rio de Janeiro: Medsi, 2003. p. 273-284.

DANBOLT, C.; HULT, P.; TIBBLING, L. G.; ASK, P. Validation and characterization of the computerized laryngeal analyzer (CLA) technique. **Dysphagia**, New York, v. 14, p. 91-95, 1999.

DARTNALL, H. J. A.; BOWMAKER, J. K.; MOLLON, J. D. Human visual pigments: Microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. **Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences**, London, v. 220, n. 1218, p. 115-130, 1983.

DELPHINO, R. D. **RAM status**. Disponível em: <<http://www.rodrigobytes.com.br/downloads/Default.aspx>>. Acesso em: 1 dez. 2006.

DODDS, W. J.; STEWART, E. T.; LOGEMANN, J. A. Physiology and radiology of the normal oral and pharyngeal phases of swallowing. **American Journal of Radiology**, Westwood, v. 154, p. 953-63, 1990.

DOUGLAS, C. R.; DOUGLAS, N. A. Patofisiologia da disfagia orofaríngea. In: DOUGLAS, C. R.; CISTERNAS, J. R. **Fisiologia clínica do sistema digestório**. São Paulo : Tecmedd, 2004. p. 367-418.

DOWNLOAD, Free. Disponível em: <http://www.majorgeeks.com/Cool_Beans_System_Info_2_d2286.html>. Acesso em: 24 nov. 2006.

DYSPHAGIA. **Diagnosis of dysphagia.** Disponível em: <<http://digestive.health.ivillage.com/digestivesignssymptoms/dysphagia6.cfm>>. Acesso em: 05 dez. 2006.

EKBERG, O.; BORGSTROM, P. S.; BROOKS, W. A. A graphic representation of pharyngeal wall motion during swallow: technical note. **Dysphagia**, New York, v. 4, p. 43-47, 1989.

EKBERG, O. The role of radiology in the evaluation and treatment of neurologically-impaired patients with dysphagia. **Journal Neurologic Rehabilitation**, New York, v. 4, p. 65-73, 1990.

ERTEKIN, C.; PEHLIVAN, M.; AYDOGDU, I.; ERTAS, M.; ULUDAG, B.; SELEBI, G.; COLAKOGLU, Z.; SAGDUYU, A.; YU"CEYAR, N. An electrophysiological investigation of deglutition in man. **Muscle Nerve**, New Jersey, v. 18, p. 1177-1186, 1975.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio Eletrônico.** Versão 3.0, Novembro de 1999.

FILGUEIRAS, L. V. L.; TORI, R.; MASSOLA, A. M. A.; ARAKAKI, R. **Fundamentos de computação gráfica.** Rio de Janeiro: LTC, 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.** 2. ed. São Paulo: Paz e Terra, 165 p., 1997.

FURKIN, A. M.; SANTINI, C. S. **Disfagias orofaríngeas.** Carapicuíba: Pró-Fono, 340 p., 1999.

GARDNER, E.; GRAY, D. J.; RAHILLY, R. O. **Anatomia: estudo regional do corpo humano.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 730 p., 1978.

GUATERIE, M. Problématique des troubles de la deglucion. **Revie de Laryngologie**, Espanha, v. 3, n. 4, 1990.

GOLDMAN, L.; AUSIELLO, D. **Cecil: tratado de medicina interna.** 22. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 3000 p., 2005.

HARVARD, M. **Harvard Medicine Institute.** Disponível em: <<http://www.med.harvard.edu/AANLIB/cases/caseNA/pb9.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2006.

HUMANA, Anatomia. **Anatomia humana por hipocrates.** Disponível em: <www.anatomia.tripod.com>. Acesso em: 20 mar. 2007.

INZUNZA, O; Bravo, H. Impacto de dos programas computacionales de Anatomia humana en el rendimento del conocimiento practico de los alumnos. **Rev. chil. anat.**, Espanha, V. 17, n.3, 205-209 p. 1999.

INZUNZA, O; Bravo, H. Evaluación de dos programas computacionales desarrollados para la docencia en anatomía humana. In: V Congreso IberoAmericano de Informática Educativa, 1., 2000, VinaDelMar. **Anais...**, Chile, 2000. p. 200.

INZUNZA, O; Bravo, H. Animación Computacional de Fotografías, un real aporte al aprendizaje práctico de Anatomía Humana. **Revista Chilena de Anatomía**, v. 20, n. 2, p. 151-157. 2002.

INZUNZA, O; Bravo, H., et al. Evaluación Práctica de Anatomía, Rendimiento de los alumnos de primer año de medicina ante distintas formas de preguntar. **Int. J. Morphol.**, v. 21, n. 2, p. 131-136. 2003.

JONES, L. W. **Neural networks**. Disponível em: <<http://ei.cs.vt.edu/~history/neurlnet.html>>. Acesso em: 27 fev. 2006.

KANDEL, E. C.; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M. **Principles of neural science**. 4. ed. New York: Mc-Graw Hill Inc., 2000. p. 1414

KOCK, H. A. Métodos radiológicos de investigação em doenças disfágicas. In: COLÓQUIO MULTIDISCIPLINAR DE DEGLUTIÇÃO E DISFAGIA, 1., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Supraset, 1998. p. 103-106.

KONVERTIERUNG, **Shareware**. Disponível em: <<http://www.freeware-archiv.de/shareware/WinAVIVideoConverter-Konvertierung.htm>>. Acesso em: 05 out. 2006.

LATARJET, A.; TESTUT, L. **Tratado de anatomia humana**. 1. ed. Rio de Janeiro: Salvat Editores S.A., 1966. 1237 p.

LEE, J.; BLAIN, S.; CASAS, M.; KENNY, D.; BERALL, G.; CHAU, T. A radial basis classifier for the automatic detection of aspiration in children with dysphagia. *Journal Of Neuroengineering and Rehabilitation*, New York, p. 3-14, 2006. Disponível em: <<http://www.jneuroengrehab.com/content/3/1/14>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

LINDEN, P.; SIEBENS, A. A. Dysphagia: predicting laryngeal penetration. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Virginia, v. 64, p. 281-4, 1983.

MACEDO, E. D. O Papel da fase faríngea nos processos disfágicos. In: COSTA, M. M. B.; CASTRO, L. P. **Tópicos em deglutição e disfagia**. Rio de Janeiro: Medsi, 2003. p. 37-45.

MACEDO, E. D. Mecanismos protetores da deglutição. In: JACOBI, J. S.; LEVY, D. S.; SILVA, L. M. C. **Disfagia: avaliação e tratamento**. Rio de Janeiro: Revinter, 2004. p.18-25.

MACHADO, E. B. M. **Neuroanatomia funcional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1993. 363 p.

MACKOWIACK, R. C.; BRENMAN, H. S.; FRIEDMAN, M. H. F. Acoustic profile of deglutition. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 125, p. 1149–1152, 1967.

MARCHESAN, I. Q. **Deglutição-normalidade**. Disponível em: <http://www.ibemol.com.br/ciodf2001/006.asp> >. Acesso em: 27 jan. 2007.

MARCHESAN, I. Q. Disfagia. In: MARCHESAN, I. Q.; BOLAFFI, C.; GOMES, I. D. G.; ZORZI, J. L. **Tópicos em Fonoaudiologia**. São Paulo: Lovise, 1995. p. 161-66.

MCCORNICK, B. H.; DEFANTI, T. A.; BROWN, M. D. **Visualization in scientific computing**. Report of the NSF Advisory Panel on Graphics: Image Processing and Workstations. 1978.

MEDICINE, School of. **Course**. Disponível em: < <http://www.thalamus.wustl.edu/course> > Acesso em: 20 mar. 2007.

MELOSO, A.F.; ALMEIDA, H.; CARDINELI, R. Edição de Vídeo/Rippers – Zwei-Stein 3.01, GXTranscoder 2.0, Virtual Dub 1.6.11, Sony Vegas 6.0d, AoA DVD Ripper 3.7.6. **Revista PC Brasil Especial**, São Paulo, ano 3, n. 28, p. 29-32, 2006.

MENESES, M. S. Estereoscopia aplicada à neuroanatomia: estudo comparativo entre as técnicas de filtro de cores e de polarização. **Arquivo de Neuro-Psiquiatria**. v. 60, n. 3-B, p. 769-774. 2002.

MILLER, A. J. Neurophysiological basis of swallowing. **Dysphagia**, New York, v. 1, p. 91-100, 1986.

MELOSO, A. F.; ALMEIDA, H.; CARDINELI, R. Edição de Vídeo/Rippers – Zwei-Stein 3.01, GXTranscoder 2.0, Virtual Dub 1.6.11, Sony Vegas 6.0d, AoA DVD Ripper 3.7.6. **Revista PC Brasil Especial**, São Paulo, n. 28, p. 29-32, 2006.

MORAN, J. M. **Tendências da educação online no Brasil**. Disponível em: < <http://www.eca.usp.br/prof/moran/tendencias.htm> >. Acesso em: 15 fev. 2006.

MOTILIDADE DIGESTIVA. **Laboratório de deglutição & disfagia**. Disponível em: < http://www.disfagia.ufrj.br/software_01.htm >. Acesso em: 06 out. 2006.

NETTER, F. H. **Atlas de Anatomia humana**. 1. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 514 p.

NETTO, C. R. S. **Deglutição: na criança, no adulto e no idoso**. São Paulo: Ed. Lovise, 2003. p. 176.

NEUROCIRURGIA, **Sociedade Brasileira de Neurocirurgia. SBN**. Disponível em: < <http://www.sbn.com.br>> Acesso em: 20 mar. 2007.

NORTH HARRIS COLLEGE BIOLOGY DEPARTMENT. **Anatomy and physiology: Animations, movies and interactive tutorial links**. Disponível em: < <http://science.nhmccd.edu/BioL/ap1int.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2006.

PADUA, W. P. F. **Engenharia de software: Fundamentos, métodos e padrões**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2003. p. 602.

PERLMAN A. L.; GRAYHACK J. P. Use of the electroglottograph for measurement of temporal aspects of the swallow: preliminary observations. **Dysphagia**, New York, v. 6, p. 88-93, 1991.

PUTZ, R.; PABST, R. **Sobotta: Atlas de anatomia humana**. 21. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S/A, 2000. v.1. 405 p.

REDDY, N. P.; CANILANG, E. P.; CASTERLINE, J.; RANE, M. B.; JOSHI, A. M.; THOMAS, R.; CANDADAI, R. Non-invasive acceleration measurement to characterize the pharyngeal phase of swallowing. **Journal of Biomedical Engineering**. New York. v. 13, p. 379-383, 1991.

RIZZO, A. M.; PICOLO, G. G.; FREITAS, L. T. Video-Convertidores – DVD2AVI 1.77.4, TMPEGenc 2.524. **Revista Guia Completo Especial**, São Paulo, ano 2, n. 8, p. 32, 2006.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F. **Object-Oriented Modeling and Design**. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.

SABBATINI, R. M. E.; CARDOSO, S. H. **Interdisciplinarity and the study of mind**. Disponível em: < <http://www.cerebromente.org.br/n06/opiniaio/interdisc.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2006.

SANTA RITA JORNAL. **Exame analisa deglutição em tempo real**. Disponível em: < <http://www.webinbox.com.br/wibt1/interna.asp?idCliente=56&acao=materia&id=1367>>. Acesso em: 09 fev. 2007.

SANTOS, R. S.; MACEDO FILHO, E. D. **Sonar Doppler como instrumento de avaliação da deglutição**. Disponível em: < http://www.arquivosdeorl.org.br/conteudo/acervo_port.asp?Id=379>. Acesso em: 13 fev. 2007.

SCHROEDER, W.; MARTIN, K.; LORENSEN, B. **The visualization toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics**. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. p. 826.

SELLEY, W. G.; FALCK, F. C.; ELLIS, R. E.; BROOKS, W. A. The exeter dysphagia assessment technique. **Dysphagia**, New York, v. 4, p. 227-235, 1990.

SILVA, A. A. **Tradução computacional dos achados videofluoroscópicos da dinâmica das fases Oral e Faríngea da Deglutição:** imagens anatômicas básicas. 2001. 52 f. Dissertação (Mestrado em Medicina) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

SILVA, S. F.; CAMPOS, D. R.; GUIMARÃES, S. L.; DESTRO-FILHO, J. B.; GONÇALVES, W. F. P. Software interativo para visualização tridimensional do neurônio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 20. E CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA CLÍNICA, 2., São Pedro, 2006. **Anais...** São Paulo: USP, 2006. p. 33-36.

SOFTSEA, Download. Disponível em: < <http://www.softsea.com/review/DN-Sys-Info.html> >. Acesso em: 27 nov. 2006.

SOUKI, G. Q.; ZAMBALDE, A. L. **Fundamentos de administração e informática.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. p. 46.

TAVARES, R.; LUNA, G. **Concept map and interactive animation.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, 1., Pamplona, 2004. **Anais...** Pamplona: Spain, 2004. p. 14-17.

TOPICS, Course. **Skills in Patient Assessment.** Disponível em: < <http://www.sprojects.mmi.mcgill.ca> > Acesso em: 20 mar. 2007.

UNIPAR. **Campus Virtual:** Index of courses. Disponível em: < <http://virtual.unipar.br/courses/MEDICINAVETERINARIA/document/SNP.ppt> >. Acesso em: 02 mar. 2007.

VILELA, A. L. M. **Sistema Nervoso.** Disponível em: < <http://www.afh.bio.br/nervoso/nervoso1.asp> >. Acesso em: 03 mar. 2006.

VISUALIZATION TOOLKIT, VTK. **Educação.** Disponível em: < <http://www.vtk.org> >. Acesso em: 07 out. 2005.

XIMENES, C. R. C. **Disfagias em pacientes submetidos a glossectomia parciais e totais.** Disponível em: < <http://www.cefac.br/library/teses/55c0452f44d7d72c6d30936292ff5aaf.pdf> >. Acesso em: 22 abr. 2007.

YAMAMOTO, Y.; NAKAMURA, T.; SEKI, Y.; AKASHI, K. Measuring system of impedance pharyngography for diagnosing of swallowing disorders. **Medical and Biological Engineering and Computing**, New York. v. 34, p. 179–180, 1996.

APÊNDICE A

Código VTK com Visual C++ 6.0 –
Reconstrução Tridimensional

Mostra-se abaixo uma parte da codificação do *software* de reconstrução tridimensional, objetiva-se esclarecer parcialmente o funcionamento do aplicativo.

Bibliotecas necessárias à execução das funções programadas no Visual C++- 6.0 com as sub-funções do VTK.

```
#include "vtkRenderer.h"
#include "vtkRenderWindow.h"
#include "vtkRenderWindowInteractor.h"
#include "vtkVolume16Reader.h"
#include "vtkPolyDataMapper.h"
#include "vtkActor.h"
#include "vtkProperty.h"
#include "vtkOutlineFilter.h"
#include "vtkCamera.h"
#include "vtkPolyDataMapper.h"
#include "vtkStripper.h"
#include "vtkPolyDataNormals.h"
#include "vtkContourFilter.h"
```

Inicialização (função principal) chamada para processamento do sistema.

```
int main (int argc, char **argv)
{
if(argc < 1)
{
cout << Usage: << argv[0] << "DATADIRJheadsq/quarter" << endl;
return 1;
}
}
```

Deseja-se criar um render (descriptor de recurso ou seja recebe de uma determinada tarefa o seu retorno para uma atividade específica) com o intuito de possibilitar a geração de um objeto em 3D. Desenha uma janela e habilita a utilização do mouse e teclado.

```
vtkRenderer * aRenderer = vtkRenderer: :New();
vtkRenderWindow *renWin = vtkRenderWindow: :New();
renWin->AddRenderer(aRenderer);
vtkRenderWindowInteractor * iren = vtkRenderWindowInteractor: :New();
iren->SetRenderWindow(renWin);
```

Lê uma série de imagens/fatias 2D, as quais são utilizadas para compor o volume. As dimensões de cada fatia são fixas, e os diâmetros devem ser especificados.

```
vtkVolume16Reader *v16 = vtkVolume16Reader: :New();
v16->SetDataDimensions(128,128);
v16->SetDataByteOrderToLittleEndian();
v16->SetFilePrefix ("dan");
v16->SetImageRange(0,23);
v16->SetDataSpacing (1.6, 0.8, 1.5);
```

Gera a superfície e estruturas internas da sistema nervoso. Colorindo/pintando a superfície das estruturas.

Todos as valores são padronizados, como o valor 500 para a “cobertura externa ou meninge” do cérebro.

```

vtkContourFilter *skinExtractor = vtkContourFilter: :New();
skinExtractor->SetInput((vtkDataSet *) v16->GetOutput());
skinExtractor->SetValue(0. 500);
vtkPolyDataNormals * skinNormals = vtkPolyDataNormals: :New();
skinNormals->SetInput(skinExtractor->GetOutput());
skinNormals->SetFeatureAngle(60.0);
tkStripper *skinStripper = vtkStripper: :New();
skinStripper->SetInput(skinNormals->GetOutput());
vtkPolyDataMapper *skinMapper = vtkPolyDataMapper: :New();
skinMapper->SetInput(skinStripper->GetOutput());
skinMapper->ScalarVisibilityOff();
vtkActor *skin = vtkActor::New();
skin->SetMapper(skinMapper);
skin->GetProperty()->SetDiffuseCoior( 1, .49, .25);
skin->GetProperty()->SetSpecular(.3);
skin->GetProperty()->SetSpecularPower(20);
skin->GetProperty()->SetOpacity( 1.0);

```

São gerados valores para a presença do sistema ósseo, caso este seja constituído: define-se também a superfície das estruturas. Todos os valores são padronizados. como o valor 500 para a “cobertura externa ou meninge” do cérebro.

```

vtkContourFi Iter *boneExtractor = vtkContourFilter: :New();
boneExtractor->SetInput((vtkDataSet *) v16->GetOutput());
boneExtractor->SetValue(0. 11 50);
vtkPolyDataNormais *boneNormals = vtkPolyDataNormais : :New();
boneNormals->SetInput(boneExtractor->GetOutput());
boneNormal s->SetFeatureAngle(60.0);
vtkStripper *boneStripper = vtkStripper::New();
boneStripper->SetInput(boneNormals->GetOutput());
vtkPolyDataMapper *boneMapper = vtkPoiyDataMapper: :New();
boneMapper->SetInput(boneStripper->GetOutput());
boneMapper->ScalarVisibilityOff();
vtkActor *bone = vtkActor::New();
bone->SetMapper(boneMapper);
bone->GetProperty()->SetDiffuseCoior( 1, 1, .9412);

```

Em linhas gerais são definidos como serão os dados de saída do sistema, como cor, linhas de contorno, superfícies e outros dados.

```

vtkOutlineFilter *outlineData = vtkOutlineFilter: :New();

```

```
outlineData->SetInput((vtkDataSet *) v16->GetOutput());
vtkPolyDataMapper *mapOutline = vtkPolyDataMapper::New();
```

```
mapOutline->SetInput(outlineData->GetOutput());
vtkActor *outline = vtkActor::New();
outi ine->SetMapper(mapOutline);
outi ine->GetProperty()->SetColor(0,0,0);
```

É conveniente para criação de uma visão inicial dos dados. O FocalPoint e a posição formam um vetor de direção, mais adiante o método ResetCamera() é usado para posicionar a câmera (imagem de exibição inicial) em um ponto (dado, informação) e direção.

```
vtkCamera *aCamera = vtkCamera::New();
aCamera->SetViewUp (0, 0, -1);
aCamera->SetPosition (0, 1, 0);
aCamera->SetFocalPoint (0, 0, 0);
aCamera->ComputeViewPlaneNormal();
```

Ações/atores são adicionados ao render. Uma visão inicial é criada, O método Dolly() move a visualização para o Focal Point, assim aumenta a imagem.

```
aRenderer->AddActor(outline);
aRenderer->AddActor(skin);
aRenderer->AddActor(bone);
aRenderer->SetActiveCamera(aCamera);
aRenderer->ResetCamera ();
aCamera->Dolly(1.5);
```

Fixa uma cor de plano de fundo e o tamanho da janela, expresso em pixel (pixel é o menor ponto de luz cuja cor e luminosidade podem ser controlados na tela).

```
aRenderer->SetBackground( 1,1, 1);
renWin->SetSize(640, 480);
aRenderer->ResetCameraClippingRange ();
iren->Initialize();
iren->Start();
```

É importante apagar todos os elementos (objetos) criados previamente para prevenir a falta de memória no programa (Estouro de Pilha). Vale salientar que não é apenas o sistema que gasta/ocupa a memória do computador, mas sim todas as aplicações que o programa inicia.

```
V16->Delete();
skinExtractor->Delete();
skinNormal s->Delete();
skinStripper->Delete();
skinMapper->Delete();
```

```
skin->Delete();
boneExtractor->Delete();
boneNormals->Delete();
boneStripper->Delete();

boneMapper->Delete();
bone->Delete();
outlineData->Delete(); mapOutline->Delete(); outline->Delete(); aCamera->Delete()
aRenderer->Delete(); renWin->Delete(); iren->Delete();
return O;
```

APÊNDICE B

Código MATLAB – Videofluoroscopia

```

% Programa Principal
% Leitura do Arquivo inicial
Info = aviinfo('example');
xImage = aviread('example');

FigAnt=watchon;
Fig=figure('Visible','off', 'NumberTitle','off', 'Color',[0.7 0.7], ...
    'Name','Seleciona Imagens ... ', ...
    'Unit','normalized','Position',[0.0059 0.9824 0.9049],'MenuBar','none');

hAxes = axes('Unit','normalized','Position',[0.050 0.100 0.770 0.870]);

hSlider=uicontrol('unit','normalized','style','slider','position',[0.050 0.770],...
    'Callback','AtualizaImagemSlider(Info.NumFrames,xImage)');
% Chamada AtualizaImagemSlider

function AtualizaImagemSlider(Quadros,xIm)
FigAnt = watchon;
ListaH = get(gcf,'UserData');
hSlider = ListaH(1); % Barra de rolagem
hValor = ListaH(2); % Com o número do frame
hImage = ListaH(3); % Imagem
x = round(get(hSlider,'Value'));

set(hValor,'Value',x,'String',);
set(hImage,'cdata',xIm(x).cdata);
drawnow;

watchoff(FigAnt);

hValor = uicontrol('unit','normalized','style','edit','position',[0.360 0.003 0.080
0.035],'value',1,...
    'callback','AtualizaImagemValor(Info.NumFrames,xImage)');
% Chamada AtualizaImagemValor
function AtualizaImagemValor(Quadros,xIm)
FigAnt = watchon;

ListaH = get(gcf,'UserData');
hSlider = ListaH(1);
hValor = ListaH(2);
hImage = ListaH(3);
if str2num(get(hValor,'string')),
    x = str2num(get(hValor,'string'));
    if x > Quadros, x = Quadros; end
    if x < 1, x = 1; end

```

```

    set(hValor,'value',x,'string',num2str(x));
    set(hSlider,'value',x);
drawnow;

else
    set(hValor,'string',num2str(get(hValor,'Value')));
end
watchoff(FigAnt);

set(hValor,'string',num2str(get(hValor,'value')))

hButtonInicial = uicontrol('unit','normalized','style','pushbutton','position',[0.830 0.700
0.080 0.0250],...
    'string','Frame Inicial','Callback','AtualizaButton(Info,1)');
% chamada AtualizaButton

function AtualizaButton(Info,X)

FigAnt = watchon;
ListaH = get(gcf,'UserData');
hSlider = ListaH(1); % Barra de rolagem
hValor = ListaH(2); % Com o número do frame
hImage = ListaH(3); % Imagem
hInicial = ListaH(4);
hFinal = ListaH(5);
hTempo = ListaH(6);

if X == 1, set(hInicial,'String',get(hValor,'String')); end
if X == 2, set(hFinal,'String',get(hValor,'String')); end

set(hTempo,'String',sprintf('Tempo Entre Frames: %0.3f s',...
    round(1000*(abs(str2num(get(hFinal,'String'))- str2num(get(hInicial,'String')) + 1) /
Info.FramesPerSecond)/1000));

watchoff(FigAnt);

hInicial = uicontrol('unit','normalized','style','text','position',[0.915 0.700
0.0250],'String','1');
hButtonFinal = uicontrol('unit','normalized','style','pushbutton','position',[0.670 0.080
0.0250],...
    'string','Frame Final');
hFinal = uicontrol('unit','normalized','style','text','position',[0.915 0.670 0.070 0.0250],...
    'String',num2str(Info.NumFrames));
hTempoLeitura = uicontrol('unit','normalized','style','text','position',[0.830 0.620 0.150
0.0250],...

```

```

'String',sprintf('Tempo Entre Frames: %d s',round(Info.NumFrames /
Info.FramesPerSecond)));

hInfoTaxa = uicontrol('unit','normalized','style','text','position',[0.830 0.520 0.150 0.0250],...
'String',sprintf('Amostragem: %0.2f Frames/s',Info.FramesPerSecond));

hButtonFinal = uicontrol('unit','normalized','style','pushbutton','position',[0.870 0.0472
0.080 0.0350],...
'string','Sair','Callback','close(gcf)');

hButtonArquivo = uicontrol('unit','normalized','style','pushbutton','position',[0.870 0.820
0.080 0.0350],...
'string','Arquivo','Callback',[Info,xImage]=LeituraArquivo(Info,xImage);');
% chamada LeituraArquivo

function [In, Imag] = LeituraArquivo(In, Imag)
xIn = In;
xIm = Imag;

[filename, pathname] = uigetfile('*.*avi', 'Entre um Arquivo AVI');
if filename
    try
        In = aviinfo(fullfile(pathname, filename));
        Imag = aviread(fullfile(pathname, filename));

        FigAnt = watchon;
        ListaH = get(gcf,'UserData');
        hSlider = ListaH(1); % Barra de rolagem
        hValor = ListaH(2); % Com o número do frame
        hImage = ListaH(3); % Imagem
        hInicial = ListaH(4);
        hFinal = ListaH(5);
        hTempo = ListaH(6);
        hAxes = ListaH(7);
        hInfoTaxa= ListaH(8);
        set(hImage,'cdata',Imag(1).cdata,'parent',hAxes);
        set(hAxes,'XLim',[0.5 In.Width+0.5],'XTick',[1 In.Width],'YLim',[0.5
In.Height],'YTick',[1 In.Height]);
        set(hSlider,'min',1,'max',In.NumFrames,'value',1,'sliderstep',[1 10]/In.NumFrames);
        set(hValor,'Value',1,'String','1');
        set(hInicial,'String',get(hValor,'String'));
        set(hFinal,'String',num2str(In.NumFrames));
        set(hTempo,'String',sprintf('Tempo Entre Frames: %0.3f s',...
round(1000*(abs(str2num(get(hFinal,'String'))- str2num(get(hInicial,'String')) + 1) /
In.FramesPerSecond)/1000));
        set(hInfoTaxa, 'String',sprintf('Amostragem: %0.2f Frames/s',In.FramesPerSecond));

```



```
    watchoff(FigAnt);

    catch
        warndlg('Este arquivo não é AVI!!!','Erro no Arquivo')
        In = xIn;
        Imag = xIm;
    end
end

hImage = image(xImage(1).cdata,'parent',hAxes);
set(hAxes,'XLim',[0.5 Info.Width+0.5],'XTick',[1 Info.Width],'YLim',[0.5 Info.Height]);

set(hSlider,'min',1,'max',Info.NumFrames,'value',1,'sliderstep',[1 10]/Info.NumFrames);

ListaH = [hSlider hValor hImage hInicial hFinal hTempoLeitura hAxes hInfoTaxa];
watchoff(FigAnt);
set(Fig,'Visible','on','UserData',ListaH);
drawnow;
```

APÊNDICE C

Protocolo de Exclusão

CHECK LIST

IDENTIFICAÇÃO

Data da Avaliação: _____

Nome: _____

D.N. _____ Idade: _____ RG: _____

Tel: _____

Sintomas:

Tosse : diária () ocasional() noturna() diurna ()

Chiado ou sibilância: mantidos () ocasional ()

Dispnéia () sim () não

Sinusite: () sim () não

Otites () sim () não

Rinite: () sim () não faz tratamento () sim () não

Alteração vocal () sim () não

Eructação frequentes () sim () não

Pigarro freqüente () sim () não

Halitose () sim () não

Ruminação () sim () não

Soluço () sim () não

Pirose () sim () não

Dor abdominal () sim () não

Problemas endócrinos () sim () não

Uso de prótese móvel () sim () não

Cirurgia prévia de cabeça e pescoço () sim () não

APÊNDICE D

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, maior, abaixo assinado, RG n _____, declaro ter sido esclarecido sobre as condições a que serei submetido para a realização do Projeto de Pesquisa “Análise Computacional da Contagem do Tempo no Estudo Dinâmico da Deglutição”, que tem como pesquisador responsável o sr. SILONE FERREIRA DA SILVA RG 3384658-5505879 SSP-GO especialmente no que diz respeito ao objetivo da pesquisa. Que serei submetido ao exame Videofluoroscopia da Deglutição que é um exame radiológico com baixa irradiação, bem menor do que de uma radiografia normal; onde estarei sentado confortavelmente em ângulo de 90° e me será oferecido 5 goles de alimento líquido com contraste baritado de sabor agradável para eu beber e 5 colheres de sobremesa de alimento pastoso com contraste baritado com sabor igualmente agradável para comer e que, será gravado em DVD as imagens radiológicas do exame que mostrarão como eu engulo. Estou ciente que minha saúde não corre risco algum com a realização deste exame. Fui informado que esse exame não causará qualquer desconforto e que seu intuito é produzir as imagens do processo da deglutição para futura análise em *software* feito no Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU. Declaro que estou ciente que a qualquer problema posso entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal Uberlândia - CEP/UFU, situado no Campus Santa Mônica na Av. João Naves de Ávila, 2160 – bloco J telefone (34) 32394131. e que tenho pleno conhecimento dos direitos e das condições que me foram assegurados, a seguir relacionados

1. A garantia de receber a resposta a qualquer pergunta ou esclarecimento de qualquer dúvida a respeito dos procedimentos, riscos, benefícios e de outras situações relacionadas a pesquisa.
2. A liberdade de retirar o meu consentimento e deixar de participar do estudo, a qualquer momento, sem que isso me traga qualquer prejuízo.
3. A segurança de que não serei identificado e que será mantido o caráter confidencial da informação relacionada a sua privacidade.
4. O compromisso de que será prestada informação, atualizada durante o estudo, ainda que esta possa afetar a minha vontade de continuar participando.
5. O compromisso de que serei devidamente acompanhado e assistido durante todo o período de minha participação no projeto.

Declaro, ainda que concordo inteiramente com as condições que me foram apresentadas e que, livremente, manifesto a minha vontade de participar do referido projeto.

Uberlândia, _____ de _____ de _____.

Assinatura do voluntário

Silone Ferreira da Silva
Pesquisador

Patrícia Portela Flores
Pesquisadora

APÊNDICE E

Documento de autorização do Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição – CEPE/UFU

Este protocolo foi analisado e aceito pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFU



Universidade Federal de Uberlândia
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP
 Av. João Naves de Ávila, nº 2160 - Bloco J - Campus Santa Mônica - Uberlândia-MG –
 CEP 38400-089 - FONE/FAX (34) 3239-4131

PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA Nº 438/06

Registro CEP: 205/06

Projeto Pesquisa: "Análise computacional da contagem de tempo no estudo dinâmico da deglutição"

Pesquisador Responsável: Siloni Ferreira da Silva

De acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 196/96, o CEP manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

Situação: O protocolo não apresenta problemas de ética nas condutas de pesquisa com seres humanos, nos limites da redação e da metodologia apresentadas.

O CEP/UFU lembra que:

- a- segundo a Resolução 196/96, o pesquisador deverá arquivar por 5 anos o relatório da pesquisa e os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, assinados pelo sujeito de pesquisa.
- b- poderá, por escolha aleatória, visitar o pesquisador para conferência do relatório e documentação pertinente ao projeto.
- c- a aprovação do protocolo de pesquisa pelo CEP/UFU dá-se em decorrência do atendimento a Resolução 196/96/CNS, não implicando na qualidade científica do mesmo.

Data para entrega do **Relatório Final:** agosto/2007

15 de dezembro de 2006.

Prof. Dra. Sandra Terezinha de Farias Furtado
 Coordenadora do CEP/UFU

Orientações ao pesquisador:

(Para parecer Aprovado ou Aprovado com Recomendações)

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 - Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e). O prazo para entrega de relatório é de 120 dias após o término da execução prevista no cronograma do projeto, conforme norma da Res. 196/96 CNS.

APÊNDICE F

Artigos Publicados

SOFTWARE INTERATIVO PARA VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO NEURÔNIO

S. F. da Silva^{1*}, D. Roman-Campos^{2*}, S. Leite-Guimarães^{3**}, J.B. Destro-Filho^{4*}, D. P. Gonçalves^{5*}, W. F. Pereira^{6**}

^{*}Laboratório de Engenharia Biomédica - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica – 38400-902, Uberlândia, Brasil.

^{**} Grupo de Estudos Multidisciplinar em Neurociências, Instituto de Ciências Biomédicas - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama – 38400-902, Uberlândia, Brasil.

e-mail: silone@cafudi.gov.br

Abstract: The major goal of this work is to present a VRML-based platform that generates an interactive three-dimensional (3D) representation of a neuronal cell. The software enables different viewpoints, departing from a general sight of the whole structure, as well as providing specific details on microstructures, such as dendrites and ionic channels. Our platform is costless and requires standard computer configurations, including suitable connection to html programs.

Index terms: neuroscience, three-dimensional neuron, interdisciplinary education.

Introdução

“O estudo da mente e suas bases biológicas é um dos maiores esforços científicos de todos os tempos. Ele é a chave para o entendimento definitivo da natureza dos seres humanos. Entretanto, a fina complexidade do sistema nervoso e as diversas barreiras metodológicas que existem neste campo para o estudo objetivo de sua estrutura e função requerem uma colaboração extensa entre muitas disciplinas científicas” [1].

O processo de formação educacional de um indivíduo é complexo e amplo, sendo necessárias abordagens específicas para cada tipo de informação que se deseja transmitir [2].

O conteúdo da disciplina de Neurociências é extenso e exige um estudo minucioso de diversos tópicos, envolvendo diversos níveis biológicos. Neste artigo, enfocam-se, em nível celular, a Neurofisiologia e a Biofísica; e, em nível cerebral, a Neurologia. Baseado neste contexto, qualquer metodologia de ensino interdisciplinar deve enfatizar dois pontos centrais: as microestruturas neurológicas, que interagem na forma complexa de gânglios ou agrupamentos de neurônios; e a dinâmica dos fenômenos eletroquímicos das células neurais ou gliais [3].

Uma das formas mais usuais utilizadas na educação em Neurociências são figuras estáticas, frequentemente representadas bi-dimensionalmente [4-6]. Atualmente, animações bi-dimensionais também vêm sendo realizadas, integrando demonstrações da cadeia de fenômenos (ou processos) neurofisiológicos, ou seja,

das atividades vitais ligadas à fisiologia do sistema nervoso; bem como de textos explicativos [7-8].

Um dos grandes problemas dessas atuais representações dos neurônios consiste na geração de uma imagem que ilustre, ao mesmo tempo, a cadeia de fenômenos neurofisiológicos e apresente a geometria neural, de forma que a sua estrutura morfológica possa ser visualizada. Esse fato dificulta o aprendizado dos estudantes, que não podem construir uma imagem clara da disposição das microestruturas neurais e de seu correto funcionamento fisiológico.

Tendo em vista essas dificuldades para o entendimento do funcionamento conjunto de todas as microestruturas neurais, é necessária uma visualização mais clara da cadeia de fenômenos fisiológicos e das estruturas biológicas, as quais devem ser precisamente localizadas no espaço tridimensional.

Uma representação dinâmica e tridimensional do neurônio, exibindo os seus componentes básicos, facilitará o entendimento por parte dos estudantes, no que concerne os fenômenos que ocorrem durante a neurotransmissão. Além disso, permite a construção de uma imagem morfológica de um neurônio clássico e a distribuição de seus componentes ao longo de sua estrutura.

Material e Métodos

Com o intuito de gerar um software dentro dos padrões técnicos de programação, realizou-se a análise para a modelagem e construção do aplicativo. As figuras 1 e 2 mostram os diagramas do projeto.



Figura 1: Diagrama do Contexto.

Diagrama de Transição de Estados

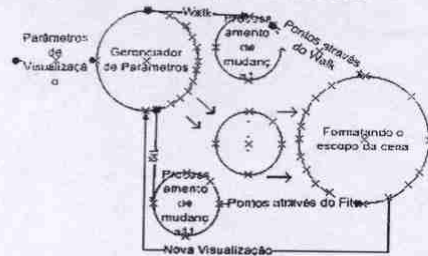


Figura 2: Diagrama de Transição de Estados.

Concomitantemente, temos a seguinte descrição para o dicionário de eventos: parâmetros de visualização [*Walk* (Andar), *Fly* (Voar), *Study* (Examinar), *Plan* (projetar), *Pan* (Panorama), *Turn* (Girar), *Roll* (Rolar), *Go to* (ir para), *Align* (Alinhar), *Restore* (Restaurar), *Fit* (Ajustar a tela)]; nova visualização: objeto alterado, gerado pelo sistema após as opções escolhidas pelo usuário do sistema.

Dessa forma, utilizando a modelagem como premissa básica, implementou-se o aplicativo. O programador iniciou a elaboração do software, primeiramente, com a construção do corpo celular. Após esta fase, criaram-se as organelas circundantes. Em seguida, desenvolveu-se o axônio, logo após os dendritos, a bainha de mielina e, por último, os canais iônicos.

Para sua execução, o software necessita de, no mínimo, um computador 486 DX4 com 32 MB de memória RAM, ou um outro computador compatível com esta descrição.

Resultado

Como pode ser observado na seqüência das figuras 3 - 6, percebe-se que o trabalho proposto apresenta uma construção dinâmica, permitindo que o usuário interaja com a animação, podendo centrar suas atenções nas partes que realmente lhes são importantes. Com este objetivo, o software foi desenvolvido em linguagem de programação VRML.

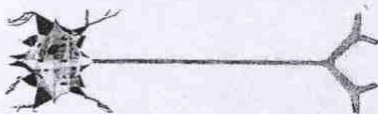


Figura 3: Neurônio completo, visão frontal.

Essa dinâmica de visualizações de imagem tem o objetivo de levar à compreensão da cadeia de fenômenos neurofisiológicos. Tal dinâmica pode ser notada observando-se a figura 3, que ilustra uma visão geral do neurônio, já a figura 4 apresenta um panorama

mais detalhado da estrutura nuclear deste, ao passo que na figura 5 tem-se a visualização do fenômeno do transporte de íons, com a abertura do canal iônico e a propagação do sinal ao longo do axônio até as terminações do mesmo, que são conhecidas como ramificações terminais axônicas ou telodendrites [3]. A figura 6 apresenta detalhes internos ao citoplasma.

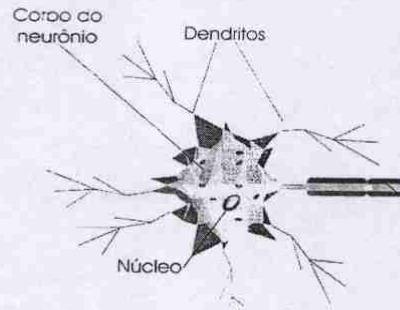


Figura 4: Estrutura Nuclear, vista superior.



Figura 5: Transporte de íons, visão frontal com aproximação (zoom).

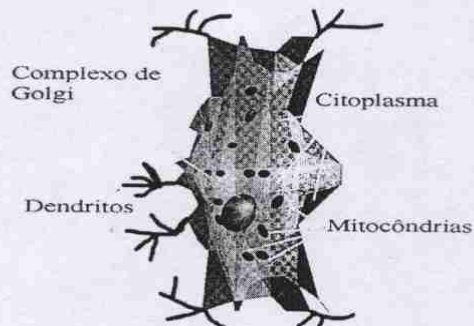


Figura 6: Citoplasma e Mitocôndrias, visão lateral oblíqua, após rotação, translação e aproximação (zoom).

O programa permite que o usuário possa visualizar de forma lógica a arquitetura neural, bem como a disposição de suas estruturas básicas necessárias para o seu funcionamento. O usuário parte de uma visão geral,

como demonstrado na figura 3, para uma visão específica, como observado na figura 5, que exhibe os canais iônicos e a forma como eles participam na propagação do potencial de ação. A figura 6 apresenta uma amostra do neurônio, após rotação e translação, permitindo uma análise mais nítida dos processos internos da célula neural.

A metodologia de construção do programa possibilita, por parte do usuário, a criação de uma hierarquia da estrutura neuromorfológica, já que são utilizadas, inicialmente, imagens de caráter geral, seguidas das específicas. Essa forma de aprendizagem faz parte de uma das correntes pedagógicas atuais [9-10], proposta pelo pedagogo Ausubel [11], o qual estabelece que o conhecimento deve ser construído a partir do conceito geral para o específico, com o objetivo de facilitar o processo de ensino-aprendizagem do aluno. Por outro lado, existem ainda outras frentes pedagógicas, como a de Paulo Freire [13], que afirma 'educar é construir, é libertar o ser humano das cadeias do determinismo'. Assim sendo, sugerimos a utilização do Aplicativo como forma de ampliar o leque de fontes de conhecimentos para o aluno.

Portanto, o programa proposto, além de facilitar a visualização de um ponto de vista dinâmico da rede de fenômenos neurofisiológicos, permite que o usuário possa criar uma seqüência lógica da arquitetura neural, bem como a forma que as suas subestruturas estão organizadas ao longo do corpo neural, axônios e dendritos. Uma característica peculiar do software proposto consiste em seu desenvolvimento baseado em uma corrente pedagógica amplamente difundida entre os educadores [9-11], sendo que tal cuidado foi assumido com o objetivo de facilitar o processo de aprendizagem do usuário.

Discussão

Após o estudo da Neurofisiologia, da pesquisa por métodos comprovados de ensino-aprendizagem [11,13] e da modelagem do neurônio segundo as regras da Engenharia de Software [12]; criou-se então o neurônio tridimensional utilizando a linguagem de programação VRML.

O neurônio tridimensional pode ser visualizado através de qualquer navegador de Internet, dessa forma pode ser disponibilizado para consulta em qualquer localidade, sendo apenas necessário ao estudante um acesso a Internet na localidade onde o aplicativo estiver disponível. Por outro lado, a utilização do software permite a economia de papel, pois diversos conceitos e processos dinâmicos podem ser exibidos com apenas alguns movimentos no mouse.

Conclusão

Este trabalho desenvolveu um recurso interativo para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem da Neurociências (como particular enfoque em Neurofisiologia, Biofísica e Neurologia), baseado em

linguagem VRML, de custo reduzido, e que não exige uma configuração de hardware complexa. O recurso pode ser utilizado por estudantes e docentes de diversas áreas do conhecimento, incluindo Medicina, Biologia, Física e Engenharias. Como seqüência natural, pretende-se desenvolver mais programas que permitam a inclusão de outras microestruturas, por exemplo, células gliais.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Engenharia Biomédica da FEELT/UFU, pelos recursos informáticos disponibilizados; e aos estudantes que participaram diretamente da construção deste trabalho, em especial a Samuel Leite Guimarães, Daniel Pereira Gonçalves e Danilo Roman Campos.

Referências

- [1] Núcleo de Informática Biomédica Universidade Estadual de Campinas (2006), "Interdisciplinarity and the Study of Mind". Disponível em <http://www.cerebromente.org.br/n06/opiniaio/interdisc.htm>. Acesso em: 15 fev. 2006.
- [2] Moran, J. M. (2005) "Tendências da educação online no Brasil". Disponível em <http://www.eca.usp.br/prof/moran/tendencias.htm>. Acesso em: 15 fev. 2006.
- [3] Kandel, E. C., Shwartz, J. H., Jessel, T. M. (2000), *Principles of Neural Science*, New York: Mc-Graw Hill Inc.
- [4] Vilela, A. L. M. (2005) "Sistema Nervoso". Disponível em <http://www.afh.bio.br/nervoso/nervoso1.asp>. Acesso em: 03 mar. 2006.
- [5] Boeree, C. G. (2003) "The neuron". Disponível em <http://www.ship.edu/~cgboeree/theneuron.html>. Acesso em: 02 mar. 2006.
- [6] Jones, L. W. (1996) "Neural Networks". Disponível em <http://ei.cs.vt.edu/~history/NEURLNET.HTML>. Acesso em: 01 fev. 2006.
- [7] North Harris College Biology Department (2006) "Anatomy & Physiology: Animations, Movies & Interactive Tutorial Links". Disponível em <http://science.nhmccd.edu/BioL/ap1int.htm>. Acesso em: 12 abr. 2006.
- [8] Annenberg Media Learner (2005) "Rediscovering Biology: Molecular to Global Perspectives". Disponível em <http://www.learner.org/channel/courses/biology/units/neuro/images.html>. Acesso em: 10 abr. 2006.

[9] Tavares, R., Luna, G. (2004) "Concept map and interactive animation". *First International Conference on Concept Mapping*, Pamplona, Spain, Sept., pp. 14-17.

[10] Amoretti, M. S. M. (2001) "Protótipos e estereótipos: aprendizagem de conceitos. Mapas Conceituais: experiência em Educação a Distância". *Informática na Educação: Teoria e Prática*, v. 4, n. 2, p. 49-55.

[11] Ausubel, N. H. (1980), *Psicologia Educacional*. Editora Interamericana.

[12] Padua, W. P. F. (2003). *ENGENHARIA DE SOFTWARE: Fundamentos, Métodos e Padrões*, Editora : LTC. Ed. 2, p. 602.

[13] Freire, Paulo. *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 2. Ed. São Paulo: Paz e Terra. 1997.

A BIOCHEMICAL MAP DEVOTED TO NEUROSCIENCE EDUCATION BASED ON A MULTIDISCIPLINARY APPROACH

D. Roman-Campos¹, S. Leite-Guimarães², Silone F.-da Silva³, J.B. Destro-Filho⁴, W. F. Pereira¹, R.M. de Melo⁴, Fabio de Oliveira²

Abstract — This paper presents an educational endeavour aimed at neuroscience education for undergraduate/postgraduate students of any field, with special focus on technological sciences (engineering and physics). The structure and contents of the biochemical map is organized so that it follows a step-by-step procedure, ranging from molecular concepts up to the general neurotransmission process. The major contribution of the website is to provide an effective organization of the information, mixing texts, animations and simulation of the cellular membrane biophysical phenomena, especially suited for students and researchers with engineering and other technological-science background.

Index Terms — neural engineering, biophysics, multidisciplinary education, biochemical maps.

1 - INTRODUCTION

Current research in biology and medicine is largely dependent on informatics as well as on technological sciences. In terms of molecular biology, the genome [1,2] and proteome [3,4] global endeavours require a huge amount of data processing, which led to the birth of the bioinformatic science [5,6].

The need of more accurate analysis of biological phenomena led to systems biology [7], an emerging research field mixing mathematicians, physicists and biologists.

Finally, one should also point out the current revolution on neurophysiological instrumentation based on multielectrode arrays (MEAs), which are devices capable of performing a massive acquisition and processing of cellular signals of the nervous system [8]. MEAs represent the first step towards the development of intelligent neuroprostheses and brain-machine interfaces, which will evolve in the next ten years as promising therapies for several frontier problems in the medical science, such as dystrophies [9], epilepsy [10] and pain management. However, there are several issues to be solved for in order to accomplish the implementation of neuroprostheses [11,12], such as biocompatibility, adhesion of the circuit to the circuit, the efficient exchange of information between cells and the circuit, as well as the modeling of the biological information present in MEA recordings (which is called the "neural coding problem").

All these issues are studied by the well-known "neural engineering" [10] research field.

It should be pointed out that the genome and proteome projects are currently carried out by a worldwide effort, involving huge amount of funding, leading to a massive divulgation within the scientific information media. However, neural engineering is not so divulgated, leading to very few research groups in the world, if compared to the genome and proteome projects. Notice that all these scientific endeavours are quite close to each other, since the genome project studies concepts, morphology and measurements carried out at the molecular level; whereas neural engineering analyses concepts, morphology and measurements carried out at the cellular level.

In consequence of the previous discussions, and based on the complexity of biological systems, it is clear that the development of both genome/proteome and of neural engineering projects require the knowledge of a huge amount of concepts, thus leading to a multidisciplinary training. Here, "multidisciplinary training" means that students may come from several different fields (for example, biology, medicine, engineering, physics), as well as that several different subjects must be studied (such as membrane biophysics, differential equations, neuroanatomy, recombination, genetics, statistical model...g).

There are several websites devoted to biology education [13-20], as well as to technological sciences education [21-22]. However, to our knowledge, there are few websites involving both subjects at a time, thus making it difficult for students of different backgrounds, who will need to look for and find out quite different concepts and information all the time. This is especially true in the context of neural engineering. A possible solution for this problem is to concentrate the information associated with the whole neurotransmission phenomenon in a systematic way, including details of each phase of the process, by means of a biochemical map.

The major advantage of a biochemical map presenting biological concepts based on a technological viewpoint is to provide an efficient and systematic way of neuroscience training. Notice that technological science students involved with neural engineering research must be accustomed to the analysis of quite an unusual system such as the neural tissue. This last one presents a huge amount of biological microstructures of different sizes, performing different

¹D. Roman-Campos and W. F. Pereira, Neuroscience Laboratory (NeuroLab), Institute for Biomedical Sciences (ICBIM), Campus Umuarama, Federal University of Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, Brazil. drcbio@yahoo.com.br, wil@ufu.br.

²S. Leite-Guimarães and Fabio de Oliveira, Biophysics Laboratory, ICBIM / UFU, Uberlândia, MG, Brazil. leumasite@yahoo.com.br, foliveira@umuarama.ufu.br

³Silone F.-da Silva, Federal School of Agriculture, Faz. Sobradinho s/n, CP 592, Uberlândia, MG, Brazil. silone@eafud.gov.br.

⁴J-B Destro-Filho and R.M. Masini, Control Systems Laboratory (Lasec), School of Electronic Engineering (FEELT), UFU, Uberlândia, MG, Brazil. jbdestro@ufu.br, rodrigomasini@yahoo.com.br.

functions and which interact with each other in a very complex way. In addition, the purpose and the rationale underlying these interactions is not quite clear even to biologists. Consequently, a biochemical map must present detailed information on the several parts which compose the neural tissue, as well as on the whole system, so that students may understand the link between the microscopic phenomena and the macroscopic behaviour. This is a key issue in order to establish efficient and reliable mathematical models of the neural tissue.

This article presents a preliminar step in order to face the current challenge of multidisciplinary training in neural engineering. Section two describes the general organization of the website, which is followed by the biochemical map on neurotransmission in section three. Section four discusses animations, followed by the simulation part in section five, whereas the major conclusions are summarized in section six.

2 – RATIONALE AND GENERAL ORGANIZATION OF THE BIOCHEMICAL MAP

The biochemical map consists of a series of HTML files connected to each other. In the home page [23] of the map there are three links:

- a) Biochemical/molecular pathways of the neurotransmission process (which will be called "BIOP" from now on);
- b) Animation and dynamic visualization of the neurotransmission ("ANIMAT");
- c) Computer simulation of the neuron cellular biophysics ("SIMULAT").

The first link (BIOP) presents several sublinks including texts and figures, which provide detailed information on the phenomena associated with the several biological levels of the neurotransmission process. Inside each sublink, the user may find a general text about the subject. This text presents a general explanation, but details and figures are stored in files which may be opened in another window by the user.

The second link (ANIMAT) consists of several animations, which are devoted to the dynamical representation of the biophysical processes. The user may also take a look on these animations by reading the first link (BIOP), which makes reference to the animations.

The third link (SIMULAT) stores several files for the simulation of action potentials, as well as the time variation of voltages and ionic concentrations inside/outside the neuronal membrane. These simulations are based on the Hodgkin-Huxley model [24], and the user may set the equation parameters by him/herself. The output consists of plots representing the action potentials, voltages and ionic concentrations.

The rationale of the map is described as follows. BIOP enables an overall look on the neurotransmission process, as well as detailed information on the several steps that compose the complex chain of the biochemical phenomena. There is also a quick review on cellular biology, so that the student may refer to it in case of any doubt. Text and figures are mixed, but they are not presented at the same window, so that to minimize memory occupation and processing requirements.

ANIMAT module may be used in a second step, so that to illustrate ionic exchanges through channels, action potential genesis, as well as the synaptic phenomena. Again, ANIMAT runs files in another window, so that to minimize memory occupation and processing requirements. BIOP and ANIMAT may be used by students of any background, since they are written in a quite general language, avoiding biological technical slang.

Finally, SIMULAT module may be used in a third step, providing a graphic visualization of the several mathematical variables connected to neurotransmission. Since the user may set simulation parameters, it is possible to play with equations freely, thus leading to interesting discussions regarding the biological meaning of the outcomes. Of course, SIMULAT introduces the discussion of mathematical modeling, which is mandatory in the context of engineers and physicists. For biologists and medical doctors, simulations provide insights on the interpretation of the phenomena, as well as make it possible to discuss modeling without getting into all the details of differential equations.

In the following, each one of the modules is described in detail.

3 – BIOP MODULE: DISCUSSION OF THE BIOCHEMICAL PATHWAYS

There are four sublinks in the BIOP module. Since all information is organized as HTML files, figures may be presented by clicking on special links, which are placed at strategic positions of the main text. In consequence, the reader may choose to see or not to see figures, that include simple schemes as well as real-life pictures taken from microscopy and histochemical procedures.

3.1 - Neurotransmitters.

This sublink summarizes the several types of neurotransmitters, as well as their biochemical structure. The synthesis of neurotransmitters is also discussed, including a simple listing of biochemical reactions at the cytoplasm and the influence of the genetic code on the process.

3.2 - Cytoskeleton and Molecular Motors

This sublink describes neurotransmitter transport by means of vesicles from the cytoplasm as far as the synaptic button. Several figures are provided, so that the student may get acquainted with the several biological structures associated with this process.

3.3 – Axon, Synaptic Button and Postsynaptic Membrane

This sublink discusses several issues and biophysical/biochemical properties connected to the neuronal membrane. There is a detailed analysis of ionic channels, especially focused on the ionic channel proteins.

3.4 – Neuronal Electrophysiology

The background processes of action potential genesis and propagation are discussed, so that the student may realize the role played by each biological structure.

4 – ANIMAT MODULE: DYNAMIC VISUALIZATION OF PROCESSES

This module is especially important for engineers, physicists and mathematicians, who are not accustomed to the study of several different microstructures, which play different roles in the neurotransmission process.

There are four major sublinks in this module. The first one provides a complete review of all microstructures in the cellular cytoplasm, including texts that summarize the function and biochemical reactions taking place therein. The second one deals with neurotransmitter synthesis and transport; the third one discusses neurotransmitter release and synaptic phenomena taking place at the postsynaptic membrane. The fourth sublink depicts action potential genesis and propagation.

5– SIMULAT MODULE: MODELLING

The major goal of this module is to enable students to analyse action potentials and time variations of biochemical variables for several different contexts associated with neurotransmission. For example, it may be used to compare the behaviour of the cellular membrane under normal physiological conditions with the behaviour under pathological conditions (e.g., dystrophies, pain). It is also possible to compare such outcomes with those obtained as a pharmacological treatment is applied.

Currently SIMULAT module is carried out in a MATLAB platform, so that there is not an automatic link between SIMULAT and BIOP/ANIMAT modules.

6 – CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This paper described a multidisciplinary pedagogical effort devoted to neuroscience education, which is currently focusing the neurotransmission process taking place at a cellular level. The major contribution of the biochemical map is to establish a synergy involving text, figures, animation and simulation in order to enable students of any background to get acquainted with the complete neurotransmission process. In addition, each step of the complex and lengthy chain of biochemical phenomena are illustrated and summarized.

The inclusion of simulations enable also tackling with modeling issues, which are of paramount relevance for technological science students, as well as for biologists and medicines involved with systems biology research.

The biochemical map is implemented in order to minimize memory occupation and processing time, so that to require very simple computer platforms. In fact, just a standard PC-based computer is needed to run the programs.

Future work involve the development of a C language set of programs devoted to simulation, which must also be linked to the BIOP module. Animations need further improvements, including also tridimensional visualizations by means of VRML language.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors would like to acknowledge the funding provided by FAU – UFU (PIBEG project) and by CNPq (PIBIC Program), which was essential for the accomplishment of the biochemical map. Special thanks are addressed to the School of Electronic Engineering/UFU and to the School of Medicine/UFU, who provide us with regular support to our multidisciplinary efforts. We acknowledge Prof. Foued S. Espindola (Institute for Genetics and Biochemistry, UFU), as well as all students and professors taking part at the Multidisciplinary Studies Group on Neuroscience of UFU, for regular discussions leading to insights that fund the principles of the biochemical map.

REFERENCES

- [1] Guo, X.; Flore, M.; Mavingui, P.; Fuentes, S. I.; Hernández, G. et al. Natural Genomic Design in *Sinorhizobium meliloti*: Novel Genomic Architectures. *Genome Research*. Vol. 13, No 8, august 2003, 1801-1817.
- [2] Mallof, C.; Dullaghan, E. Li. A.; Stokes, R.; Fernandez, R.; et al. Two-Dimensional DNA displays for comparison of bacterial genomes. *Biological Procedures Online*. Vol. 13, june 2003, pp. 143-152.
- [3] Rockett, J. C. Genomic and proteomic techniques applied to reproductive biology. *Genome Biology*. Vol. 2, No 9, august 2004.
- [4] Aulak, K. S.; Miyagi, M.; Yan, L.; West, K. A.; Massillon, D.; et al. Proteomic method identifies proteins nitrated in vivo during inflammatory challenge. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 98, No. 21, october 2001. 12056-12061.
- [5] Ariel, N.; Zvi, A.; Makarova, K. S.; Chidaru, T.; Elhanany, E.; et al. Genomic-Based Bioinformatic anthracis Putative Vaccine Candidates Coupled with Proteomic Identification of Surface-Associated Antigens. *Infection and Immunity*. Vol. 71, No 8, 2003. 4563-4579.

- [6] Studholme, D. J.; Bentley, S. D.; Kormanec, J. Bioinformatic identification of novel regulatory DNA sequences motifs in *Streptomyces coelicolor*. Vol. 4, No 14, april 2004.
- [7] Official website of the Summer School "Dynamics of biological systems: from genes to organisms". University of McGill, Montreal, Canada. <http://cnd.mcgill.ca/summerschool>.
- [8] Rutten, W. Selective electrical interfaces with the nervous system. *Ann. Review Biomedical Engineering*, vol. 4, pp 407-452, 2002.
- [9] Kandel, E.C.; Schwartz, J.H.; Jessel, T.M. *Principles of Neural Sciences*. New York: Mc-Graw Hill Inc., 2000, 1413 p.
- [10] *Proc. of the IEEE*, Special Issue on Neuro-engineering, July 2001.
- [11] Liit, M, D'Alessandro, B. et al. Translating seizure detection, prediction and brain stimulation into implantable devices for epilepsy. *Proc. 1st Int. IEEE EMBS Conf. on Neural Engineering*, Capri Island, Italy, 2003, p. 485-492.
- [12] Rutten, W. et al. Neuroelectronic interfacing with cultured multielectrode arrays toward a culture probe, *Proc. of the IEEE*, Special Issue on Neuro-engineering, vol. 89, no.7, July 2001
- [13] <http://www.universitario.com.br/ceio>
- [14] <http://www.epm.br/ge/capa.htm>
- [15] <http://dir.yahoo.com/Science/Biology/>
- [16] <http://nersp.nerdc.ufl.edu/~biolab/bioxi.html>
- [17] <http://biochen.arach.net.com>
- [18] <http://www.escolanet.com.br>
- [19] <http://www.neuroguide.com/cgi-bin/proulette.pl?>
- [20] <http://thalamus.wustl.edu/course/>
- [21] <http://www.educacaoonline.pro.br>
- [22] <http://www.outeng.com/1024x768/>
- [23] <http://www.neurolab.icbm.ufu.br>
- [24] Hille, B. *Ionic Channels of Excitable Membranes*, 2 ed., Sunderland - Massachusetts, Sinauer, 1992.