

**CENTRO UNIVERSITÁRIO “EURIPIDES DE MARÍLIA” – UNIVEM
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

LÍGIA GARCIA HERMOSILLA

**FERRAMENTA DE REALIDADE VIRTUAL PARA GERAÇÃO
DINÂMICA DE ESTRUTURAS DE FETO**

**MARÍLIA
2004**

LÍGIA GARCIA HERMOSILLA

**FERRAMENTA DE REALIDADE VIRTUAL PARA GERAÇÃO
DINÂMICA DE ESTRUTURAS DE FETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado do Centro Universitário Eurípides de Marília, mantido pela Fundação Eurípides Soares da Rocha, para obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a):
Prof. Dr(a) Fátima L. S. Nunes Marques

**MARÍLIA
2004**

HERMOSILLA, Lígia Garcia

Ferramenta de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto / Lígia Garcia Hermosilla, orientadora(a): Fátima L. S. Nunes Marques, Marília, SP: [s.n.], 2004.

122 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília – Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha.

CDD: 006

LÍGIA GARCIA HERMOSILLA

**FERRAMENTA DE REALIDADE VIRTUAL PARA GERAÇÃO
DINÂMICA DE ESTRUTURAS DE FETO**

Banca examinadora da dissertação apresentada ao programa de Mestrado da UNIVEM/F.E.E.S.R., para obtenção do Título de Mestre em Ciência da Computação.

Resultado: _____

ORIENTADOR: Prof. Dr. _____

1º EXAMINADOR: _____

2º EXAMINADOR: _____

Marília, ____ de _____ de 2004.

DEDICO...

Aos meus pais por serem a razão da minha vida.

“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”.

(Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque tudo que sou devo à Ele.

À Prof. Dr^a Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques, pelo apoio, pela paciência e pela confiança depositada em mim.

Ao Dr. Wagner José Marques, que sem a sua ajuda, seria impossível a realização deste projeto.

A Eduardo Filgueiras Damasceno pela amizade, pelo respeito e pela colaboração na realização deste.

À mamãe Genivalda Donizete de Jesus Frigo, que teve a disposição de me ajudar nos exames de ultra-sonografia e ao seu filho, Tony de Jesus Frigo, que antes mesmo de nascer colaborou para a realização deste.

Aos amigos Fábio Alexandre Modesto e Marcos Piva pelo apoio prestado.

Aos meus queridos pais Calisto Garcia Hermosilla e Helena da Silva Garcia, pelo imortal amor e paciência, e por serem a razão da minha vida.

Às minhas irmãs Maria Inês e Cláudia, por tudo, já que é impossível mencionar tantas coisas feitas.

Aos meus amigos Márcio Rizzatto e Renata Nicolau Pinheiro por serem amigos maravilhosos.

Aos amigos do laboratório, Larissa Pavarini, Ana Paula Medeiros de Lima, Fábio Dacêncio Pereira e Marcello Kera, pelo constante apoio.

A minha prima Mara Silvia Carvalho, pela confiança e colaboração.

HERMOSILLA, Lígia Garcia. **Sistema de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto**, 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, Marília, 2004.

RESUMO

A Realidade Virtual tem demonstrado a possibilidade cada vez maior de constituir-se em uma aliada em desenvolvimento de sistemas diferenciados, com interfaces próprias, fazendo com que usuários sintam-se muito próximos de situações reais. Na área da saúde essa tecnologia vem ganhando espaço. Simuladores de procedimentos médicos, ferramentas de treinamento e visualização de informações utilizando os mais diversos tipos de modalidades de imagens médicas são exemplos de aplicações que empregam a Realidade Virtual, trazendo inúmeros benefícios a profissionais da área. Este trabalho apresenta a construção dinâmica de estruturas de feto através de técnicas de Realidade Virtual, consistindo na implementação de rotinas computacionais que modelem dinamicamente estruturas tridimensionais componentes do feto, a partir de medidas extraídas de imagem de Ultra-som bidimensional. Assim, é oferecida uma contribuição para a visualização e manipulação dessas estruturas de forma fácil e rápida para o usuário, e com o menor custo possível.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Ultra-som, imagens bidimensionais, representação tridimensional, feto.

HERMOSILLA, Lígia Garcia. **Sistema de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto**, 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, Marília, 2004.

ABSTRACT

Virtual Reality has been demonstrating a growing possibility in constituting itself as an ally in different systems development, with their own interfaces, making the users feel closer to real situations. In the health field, this technology has been earning its space. Medical procedures simulators, training and visualizing information tools, using several kinds of medical image modalities are models of application in which Virtual Reality is applied, bringing many benefits to the professionals in this field. This paper presents the dynamic construction of the fetus structures through Virtual Reality techniques, consisting in the computer routine implementation that dynamically shape tridimensional structures of the fetus, from the measures extracted to the bidimensional ultrasound image. Thus, it is offered a contribution, so that the user visualize and manipulate these structures easily and quickly, as cheap as possible.

Keywords: Virtual Reality, Ultrasound, bidimensional images, tridimensional representation, fetus.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 2 - IMAGENS TRIDIMENSIONAIS E REALIDADE VIRTUAL EM MEDICINA	18
2.1. Conceitos básicos de Realidade Virtual	18
2.2. Aplicações de imagens tridimensionais e Realidade Virtual em Medicina	21
2.2.1. Sistema auditivo humano	22
2.2.2. Educação médica	24
CAPÍTULO 3 - REALIDADE VIRTUAL NA ULTRA-SONOGRAFIA.....	33
3.1. Conceitos básicos de Ultra-sonografia.....	33
3.2. Aplicações de Realidade Virtual a partir de imagens de Ultra-som.....	39
3.2.1. Ultra-som obstétrico	39
3.2.2. Ultra-som para biópsia de mama	41
3.2.3. Laparoscopia	42
CAPÍTULO 4 - CONSTRUÇÃO DE HUMANOS VIRTUAIS.....	45
4.1. Características de humanos virtuais.....	46
4.2. Criação de uma personagem segmentada	49
4.2.1. Pivôs e rotação das juntas.....	50
4.2.2. Hierarquia	51
4.3. Cinemática direta	51
4.4. Cinemática inversa.....	52
4.5. Modelagem de estruturas do corpo humano.....	53
4.5.1. A estrutura das mãos e dos pés.....	54
4.5.2. A estrutura da cabeça, tronco, membros superiores e inferiores.....	55
4.6. Etapas do desenvolvimento do feto.....	57
CAPÍTULO 5 - SISTEMA DE REALIDADE VIRTUAL PARA GERAÇÃO DINÂMICA DE ESTRUTURAS DE FETO	63
5.1. Metodologia utilizada	63
5.2. Funcionamento do sistema	66
5.3. Componentes físicos do sistema	67
5.4. Ambiente de programação	68
5.5. Modelagem do feto	69

5.6. Parâmetros para modelagem tridimensional.....	72
5.7. Funcionamento do programa.....	78
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
6.1. Análise comparativa dos métodos tradicional e proposto	93
6.2. Análise tecnológica	102
6.3. Análise qualitativa realizada por usuários médicos.....	104
6.4. Aprimoramentos futuros	108
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS	119

LISTA DE ABREVIATURAS

2D:	Bidimensional
3D:	Tridimensional
4D:	Tetradimensional
CI:	Cinemática Inversa
ECG:	Eletrocardiograma
EUA:	Estados Unidos da América
HMD:	Head Mounted Display
HTML	Hyper Text Markup Language
NLM:	National Library of Medicine
US:	Ultra-som
US 2D:	Ultra-som bidimensional
US 3D:	Ultra-som tridimensional
UTI:	Unidade de Tratamento Intensivo
VHD:	Visible Human Database
VRML:	Virtual Reality Modeling Language
WWW:	World Wide Web

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Dispositivos de Realidade Virtual: HMD e DataGlove	19
Figura 2.2. Imagem da parte externa do ouvido	23
Figura 2.3. Imagem da parte interna do ouvido	24
Figura 2.4. Imagem tridimensional do cérebro do <i>Visible Human</i>	27
Figura 2.5. Simulação cirúrgica para remover tumor cerebral.....	28
Figura 2.6. Manequim para simulação de endoscopia.....	30
Figura 2.7. Imagem de um treinamento em prática de sutura sendo executado em um simulador.....	30
Figura 2.8. Cirurgia gastrointestinal usando um sistema de telerobótica.....	32
Figura 3.1. Diferenças na resolução de imagens do Ultra-som 2D para o Ultra-som 3D	37
Figura 3.2. Imagem de Ultra-som ilustrando o crescimento do feto com aproximadamente 20 semanas de idade dentro do útero da mãe.....	38
Figura 3.3. Imagem do sistema do Ultra-som obstétrico	40
Figura 3.4 Sistema de Ultra-sonografia usando Realidade Virtual.....	40
Figura 3.5. Sistema do Ultra-som para biópsia de mama	41
Figura 3.6. Visualização do médico realizando a biópsia	42
Figura 3.7. Cirurgia de laparoscopia através do Ultra-som	43
Figura 3.8. Cirurgia de laparoscopia	44
Figura 4.1. Exemplo de polígono	48
Figura 4.2. Manequim segmentado	49
Figura 4.3. Modelagem de personagem	49
Figura 4.4. Exemplo de pivô e rotação das juntas	50
Figura 4.5. Hierarquia básica do corpo humano	51
Figura 4.6. Etapas de como a personagem deve colocar a mão sobre o bloco	52
Figura 4.7. O computador gira o resto das juntas para o usuário	53
Figura 4.8. Palma da mão e os dedos cilíndricos	54
Figura 4.9. A cabeça consiste de duas massas: crânio e mandíbula	56
Figura 4.10. Personagem que possui altura normal para um ser humano mediano	56
Figura 4.11. Desenvolvimento fetal	59
Figura 4.12. Feto em seu sexto mês de gestação.....	60
Figura 4.13. Feto em seu sétimo mês de gestação.....	61
Figura 4.14. Feto em seu oitavo mês de gestação.....	62
Figura 4.15. Bebê recém-nascido.....	62

Figura 5.1. Diagrama esquemático do funcionamento do sistema	66
Figura 5.2 – Diagrama das classes para a composição do corpo do feto e seus membros	69
Figura 5.3. Modelagem da mão direita	71
Figura 5.4. Imagem de um feto inteiro com 38 semanas de gestação	71
Figura 5.5. Imagem do rosto do feto	72
Figura 5.6. Imagem do braço inteiro do feto	73
Figura 5.7. Imagem da mão direita do feto	73
Figura 5.8. Imagem do tronco do feto	74
Figura 5.9. Imagem das pernas de um feto	75
Figura 5.10. Imagem dos pés de um feto	75
Figura 5.11. Imagem do corpo inteiro do feto	76
Figura 5.12. Diagrama esquemático da construção dinâmica de estruturas fetais	78
Figura 5.13. Execução do sistema	79
Figura 5.14. Tela principal com o menu Formação do Corpo aberto	80
Figura 5.15. Tela da formação da cabeça com parâmetros passados e a visualização do código fonte em VRML	81
Figura 5.16. Caixa de diálogo ilustrando o código da formação da cabeça em VRML.....	81
Figura 5.17. Visualização da cabeça do feto	82
Figura 5.18. Tela para onde são passados os parâmetros e gerado o código em VRML.....	83
Figura 5.19. Visualização do braço direito	83
Figura 5.20. Tela para onde são passados os parâmetros e gerado o código em VRML.....	84
Figura 5.21. Visualização do braço esquerdo	84
Figura 5.22. Tela para formação do braço direito apresentando duas opções: Braço direito normal e Braço direito em gancho	85
Figura 5.23. Malformação “braços em ganchos”.....	86
Figura 5.24. Tela de entrada de dados do submenu Estatura e o código gerado em VRML....	87
Figura 5.25. Visualização do tronco do feto	88
Figura 5.26. Tela de entrada de dados para a formação da perna direita e o código gerado em VRML	89
Figura 5.27. Visualização da perna direita	89
Figura 5.28. Visualização da perna esquerda	90
Figura 5.29. Visualização das pernas	90
Figura 5.30. Tela onde são armazenados todos os parâmetros e o código em VRML do corpo inteiro do feto	91
Figura 5.31. Visualização do corpo inteiro do feto	92
Figura 6.1. Modelagem tridimensional	94

Figura 6.2. Modelagem tridimensional	95
Figura 6.3. Ruídos na imagem	96
Figura 6.4. Visualização do corpo inteiro do feto	97
Figura 6.5. Representação das partes do corpo do feto	98
Figura 6.6. Representação das partes do corpo do feto	98
Figura 6.7. Representação tridimensional do corpo inteiro do feto	99
Figura 6.8. Imagem em diversos ângulos	99
Figura 6.9. Imagem do corpo inteiro do feto	100
Figura 6.10. Algumas malformações fetais representadas pelo sistema	101
Figura 6.11. Gráfico das notas recebidas dos especialistas	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Tabela de descrição das classes.....	77
--	----

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual é um conjunto de ferramentas de alta tecnologia que assume importância cada vez maior para o setor da medicina e instituições de ensino, exigindo alto desempenho na produção gráfica e de vídeo, riqueza na combinação de cores, detalhes e texturas elaboradas e realismo (NETTO et al., 2002). Tem sido utilizada em diversas áreas e para variadas aplicações. Através da Realidade Virtual é possível realizar virtualmente vários tipos de simulação e experimentação, atingindo-se exatamente o que se pretende de fato na realidade, além de economizar custos, tempo e alcançar o objetivo de ver concretizado um experimento ou estudo, antes mesmo deste existir, aferindo e planejando todos os passos de qualquer projeto antes da realização do mesmo.

Nos últimos anos a Realidade Virtual teve uma grande importância, dando um salto muito grande nas possibilidades oferecidas para a interação homem-máquina na área médica, permitindo o desenvolvimento de várias aplicações como: planejamento cirúrgico, endoscopia virtual, telecirurgia, educação médica, terapia virtual, entre outras. Portanto, não há como negar que o conhecimento pode alcançar níveis mais complexos com a Informática, já que a possibilidade de simulação virtual propicia ao indivíduo uma experiência bem diversa daquela pela leitura ou tradição oral. É preciso compreender, entretanto, que a realidade é algo difícil de simular, independente do meio (KIRNER, 1996).

Teichrieb (1999) enfatiza as vantagens da simulação, afirmando que esta se assemelha às experiências cotidianas, cujas causas e efeitos não só são cogitadas como

observadas e sentidas nesse espaço virtual. Através da simulação, o indivíduo introduz regras de conduta de seu grupo social que passa a nortear seu desempenho, ou ainda, cria uma resistência acerca destas e procura rompê-las, bem como é ajudado a superar certas ações impulsivas, aprendendo a planejar soluções.

De acordo com Bega (2001), o Ultra-som é um dos métodos, dentre os exames de diagnóstico por imagem, mais utilizados no rastreamento de doenças, permitindo o exame de órgãos abdominais, pélvicos, estruturas superficiais de mama, tireóide, globo ocular e sistema músculo-esquelético. O desenvolvimento dos computadores fez com que as imagens pudessem ser mostradas de forma mais rápida e com maior precisão. O Ultra-som na obstetrícia acusa malformações, fazendo um retrato fiel de estruturas fetais, como mãos, pés e face. Porém, o Ultra-som, tanto bidimensional quanto tridimensional, possui limitações como, por exemplo, artefatos relacionados à movimentação fetal e dificuldades de obter imagens em casos de redução do líquido amniótico.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de Realidade Virtual para gerar dinamicamente estruturas de feto, considerando suas características, tamanho e fases de desenvolvimento. O objetivo é permitir a representação e manipulação de imagens de fetos construindo estruturas tridimensionais a partir de medidas obtidas com a segmentação de imagens bidimensionais de Ultra-som.

Além desta introdução, esta dissertação é dividida em mais seis capítulos, a saber:

Capítulo 2: Imagens Tridimensionais e Realidade Virtual em Medicina – neste capítulo é definido o conceito de Realidade Virtual e mostrado o quanto a Informática é

importante para a Medicina, apresentando projetos desenvolvidos e em desenvolvimento e o quanto eles revolucionaram a forma de como a Medicina é praticada.

Capítulo 3: Realidade Virtual e Ultra-sonografia – neste capítulo é definido o conceito de Ultra-som, a sua importância e os tipos mais utilizados. São abordadas também a evolução da tecnologia e projetos de Ultra-sonografia utilizando a Realidade Virtual.

Capítulo 4: Construção de Humanos Virtuais – neste capítulo é definido o conceito de avatares, sua importância na Realidade Virtual e como é possível interagir com essas representações gráficas de seres humanos. É abordado o desenvolvimento de um avatar salientando-se as características que devem ser observadas na sua construção.

Capítulo 5: Sistema de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto – neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do projeto, os objetivos gerais e a metodologia do sistema.

Capítulo 6: Resultados e Discussões – neste capítulo são apresentadas as vantagens e desvantagens, os problemas detectados e as soluções durante o sistema implementado.

Capítulo 7: Conclusões – neste capítulo final é feita a conclusão a respeito do que foi descrito durante a dissertação e o desenvolvimento do projeto, assim como apresentadas sugestões para a continuidade do trabalho.

Referências Bibliográficas – lista as fontes bibliográficas utilizadas na composição da dissertação.

CAPÍTULO 2 - IMAGENS TRIDIMENSIONAIS E REALIDADE VIRTUAL EM MEDICINA

Neste capítulo serão apresentadas as aplicações desenvolvidas para Medicina utilizando técnicas de Realidade Virtual.

2.1. Conceitos básicos de Realidade Virtual

De acordo com Stanek (1996), o paradigma bidimensional tem sido amplamente utilizado para o desenvolvimento de aplicações para a *World Wide Web* (WWW). Sistemas de navegação que dão suporte às aplicações baseadas na WWW, como os navegadores para Internet, são atualmente baseados no paradigma de hipertexto e permitem visualizar documentos descritos na linguagem HTML (*Hyper Text Markup Language*). Por outro lado, a Realidade Virtual como um novo paradigma para a visualização de informações, tornou-se uma alternativa atraente para o desenvolvimento de interfaces virtuais tridimensionais mais realistas e interessantes para o usuário.

De acordo com Netto (2002), interfaces desenvolvidas com base nas tecnologias de Realidade Virtual estão entre as mais avançadas atualmente, permitindo visualizar, manipular e explorar o conteúdo de ambientes virtuais tridimensionais complexos, compostos por elementos capazes de representar qualquer tipo de informação. Porém, o principal diferencial da Realidade Virtual com relação às outras interfaces é o fato de permitir ao usuário a sensação de imersão no mundo com o qual

está interagindo, por estimular múltiplos canais sensoriais, principalmente a visão, a audição e o tato.

Robertson et al. (1994) lembra que a imersão proporciona ao usuário uma sensação de absorção ou envolvimento profundo, que pode ser atingida com dispositivos sofisticados utilizados pela Realidade Virtual Imersiva.

Para ter a sensação de estar tocando e visualizando um objeto é preciso o uso de dispositivos como a *Data Glove* e o HMD (*Head Mounted Display*). A *Data Glove* é uma luva que contém sensores de posição espacial da mão do usuário, bem como a posição de todas as articulações do pulso e dos dedos. Essas informações são enviadas para o software, que, então, permite criar uma mão virtual dinâmica, dentro do ambiente tridimensional (3D), de modo que tudo o que o usuário tenta manipular tenha repercussão sobre a cena digital mostrada (ROBERTSON et al., 1994).

O HMD é um capacete contendo duas telas de vídeo miniaturizadas coloridas, uma para cada olho, dando a sensação de estar em um ambiente 3D, sintetizado pelo software, como ilustra a Figura 2.1.



Figura 2.1- Dispositivos de Realidade Virtual: HMD e DataGlove.
(Fonte: <http://www.cc.gatech.edu/~kooper/Thesis/Chapter2.html>)

Darken (1995) lembra que o realismo deve estar presente na criação de mundos virtuais, salientando que:

Um mundo virtual é um espaço. Então o espaço e os problemas inerentes ao espaço devem ser considerados como uma parte intrínseca do processo de desenvolvimento de mundos virtuais de grande escala.

Mundos virtuais tridimensionais representam sinteticamente lugares existentes no mundo real, ou lugares fictícios imaginados pelo seu criador, permitindo ao usuário sua visualização e a interação com o ambiente e seus possíveis integrantes. O ser humano não tem dificuldade em realizar determinadas tarefas em ambientes virtuais, como localizar objetos em uma casa, encontrar o caminho de saída de um quarto, entre outros. Porém, na medida que se tornam mais complexos, problemas de desorientação do usuário durante a navegação espacial podem ocorrer.

Ainda de acordo com Darken (1995), um sistema que possibilita a navegação em ambientes tridimensionais visto sob o ponto de vista do usuário, deveria apresentar as seguintes características para ser aceito pela comunidade: ser fácil de usar; oferecer a melhor qualidade visual possível; funcionar sob várias plataformas, desde computadores locais até as baseadas na *World Wide Web*; ser um sistema colaborativo e multiusuário; oferecer facilidades na navegação espacial e ter a capacidade de descobrir o que interessa ao usuário, a fim de enfatizar o conteúdo que poderia ser mais relevante para ele.

Segundo Teichrieb (1999), uma das soluções que desenvolvedores têm encontrado para amenizar o problema da desorientação do usuário é representá-lo graficamente posicionando um representante no ambiente, de forma a tornar visível a

sua estada no mundo. Este representante é chamado avatar. Os avatares embutidos no ambiente virtual tridimensional servem para auxiliar o visitante a explorar o mundo e alcançar seus objetivos. Eles não apenas representam virtualmente o usuário, como também são capazes de realizar determinadas tarefas que auxiliam na exploração, ou seja, eles servem como guias interativos possuindo três componentes: características físicas distintas, conhecimento sobre o ambiente e comportamentos embutidos.

Hayes-Roth (1996) enfatiza a importância de avatares, afirmando que:

Avatares com características físicas distintas proporcionam ao usuário a possibilidade de selecionar ou construir um representante que o identifique satisfatoriamente. Possuindo conhecimento sobre as informações representadas no ambiente, o avatar poderá oferecer um maior auxílio ao usuário, informando-o sobre o conteúdo disponível. Além disso, comportamentos diferentes de acordo com a situação dão ao usuário a ilusão de realismo, fazendo-o se sentir mais imerso no ambiente.

2.2. Aplicações de imagens tridimensionais e Realidade Virtual em Medicina

Nas últimas décadas, os computadores exerceram um grande impacto na área da saúde, desde a monitoração de pacientes até processamento de imagens tomográficas tridimensionais.

Conforme lembra Sabbatini (1993), através da Realidade Virtual é possível realizar vários tipos de simulação e experimentação, atingindo-se exatamente o que se pretende de fato na realidade, além de economizar tempo e alcançar o objetivo de ver

concretizado um experimento ou estudo, antes mesmo deste existir, aferindo e planejando todos os passos de qualquer projeto antes da realização do mesmo.

De acordo com Kaufmann et al. (2000), a maioria das aplicações desenvolvidas em Realidade Virtual para a área médica ainda está em nível de pesquisa. Atualmente, destacam-se aplicações nas mais diversas especialidades, podendo ser citadas: treinamentos cirúrgicos em humanos virtuais, imagiologia médica em 3D, cirurgia virtual, biomecânica, bio-simulação, ensino de anatomia, visualização com Realidade Aumentada, fisioterapia virtual, ampliação de comunicação dos deficientes. Nas próximas subseções são detalhadas algumas dessas pesquisas.

2.2.1. Sistema auditivo humano

De acordo com Versweyveld (1998), professores da Universidade de Illinois estavam interessados em ensinar a anatomia interna do sistema auditivo humano de uma maneira mais dinâmica e criativa para seus residentes. A idéia era que os alunos pudessem fazer um passeio virtual altamente realístico, em três dimensões, dentro do ouvido médio de um paciente real. Dessa forma os médicos poderiam ter um desempenho e uma segurança muito maiores em uma futura microcirurgia do ouvido, como se tivessem, por assim dizer, "reconhecido o terreno" previamente.

Nesse sentido, a tecnologia de Realidade Virtual veio ao encontro dos interesses daqueles professores. Primeiro foram feitas imagens extremamente detalhadas de todo o ouvido externo, médio e interno de um paciente real, a partir de tomografia de raios-X, com cortes transversais espaçados entre si de 1,5mm.

Em seguida foi reconstruída a visão tridimensional do ouvido (denominada de volume) a partir de uma seqüência dessas imagens. Esse volume pode ser visualizado na tela do computador em qualquer ângulo e ponto de perspectiva, dando uma ilusão tridimensional.

Para poder visualizar em três dimensões de forma real, o usuário utiliza um par de óculos estereoscópico. O computador, por sua vez, exibe na tela duas imagens ligeiramente diferentes, com a velocidade de trinta quadros por segundo, sendo que cada uma delas é gerada como se tivesse sido vista pelo olho direito ou pelo olho esquerdo. A Figura 2.2 mostra uma imagem da parte externa do ouvido.



Figura 2.2 – Imagem da parte externa do ouvido
(Fonte: <http://www.uic.edu/ahs/sbhis/vrml/Research/TemporalBone/imagesTB.htm>)

Ainda de acordo com Versweyveld (1998), sincronizando essas imagens com os óculos, o usuário tem a nítida impressão de um verdadeiro objeto tridimensional flutuando no espaço. O componente de interatividade do usuário com a imagem é realizado com uma luva (*DataGlove*). Por exemplo, se ele fizer o movimento com a mão de apreensão de um bisturi, ele enxerga através dos óculos 3D a imagem de sua mão reproduzindo fielmente a posição dos dedos, "segurando" a imagem de um bisturi gerado artificialmente pelo computador. Se ele fizer o movimento de incisão, o computador gerará o mesmo movimento, incidindo sobre uma pele gerada

artificialmente, mostrando a abertura da fenda cirúrgica e o sangramento. Se o usuário movimentar a cabeça de um lado para outro, o cenário gerado pelo computador nos óculos 3D irá realizar movimento semelhante, dando a impressão de que a pessoa está imersa em um cenário real.

A Figura 2.3 mostra uma das imagens internas do ouvido, utilizada durante a interação com o usuário.

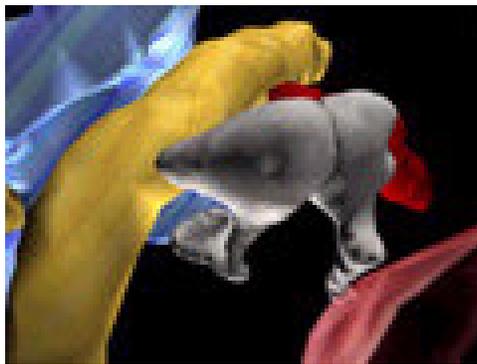


Figura 2.3 – Imagem da parte interna do ouvido
(Fonte: <http://www.uic.edu/ahs/sbhis/vrml/Research/TemporalBone/imagesTB.htm>)

2.2.2. Educação médica

Uma área de aplicação bastante óbvia e imediata para a Realidade Virtual na medicina é a educacional. Existe um enorme potencial para o uso da Realidade Virtual em muitas áreas do ensino médico, particularmente na simulação de cirurgias e em passeios virtuais através do organismo. O ensino da anatomia é basicamente ilustrativo. Além dos cadáveres, em muitos casos mais do que eles, a ferramenta mais usada pelos estudantes são os livros de folhas transparentes onde cada uma delas contém a imagem de uma parte do corpo humano, os chamados atlas de anatomia. De uma maneira

bastante direta um modelo virtual de um corpo humano pode substituir estes livros (KIRNER, 1996).

Projeto *Visible Human*

Ackerman (1995) e Cardoso (1997) lembram que médicos, cientistas e educadores de todo o mundo já têm à sua disposição o mais completo registro de imagens digitais humanas, o qual tem permitido o desenvolvimento de uma ampla gama de projetos que parece estar revolucionando o entendimento e a compreensão da visualização da anatomia do ser humano. Trata-se do *Visible Human*, ou Ser Humano Visível, um projeto de 7 milhões de dólares criado pela National Library of Medicine (NLM), em Bethesda, Maryland, a maior biblioteca médica do mundo.

Ao ser recomendado por uma cúpula de especialistas em reconstrução anatômica tridimensional, o projeto tinha o objetivo de disponibilizar à comunidade médica e científica um banco de imagens que representasse completamente um homem e uma mulher, digitalizados e armazenados em computadores. Até aquele momento, não existia um conjunto de dados digitais de todo o corpo humano, com todas as modalidades de imagem representadas e tomadas no mesmo nível. A partir de então, a NLM começou a procura dos cadáveres que poderiam tornar realidade a idéia do *Visible Human*. Em parceria com a NLM, o *Center for Human Simulation*, um conceituado centro de pesquisas que desenvolve projetos avançados com reconstruções anatômicas tridimensionais na Universidade do Colorado (EUA), examinou e reprovou mais dois mil cadáveres que foram doados para o projeto. A condição fundamental era que o

cadáver a ser escolhido fosse anatomicamente perfeito e livre de alterações patológicas estruturais. Ao final de dois longos anos de exaustiva busca, eles selecionaram o primeiro "morto perfeito", com todos os órgãos intactos: um homem de 39 anos condenado a morte por ter estuprado uma criança, o qual tinha como únicas alterações orgânicas uma substância letal já interrompida na rede venosa, a falta de um dente e de um testículo. Este homem, que havia doado o seu corpo para a ciência, saiu da vida para se imortalizar em um paraíso especial: o mundo médico virtual. Dois anos depois, a mulher virtual, morta aos 59 anos de idade por problemas de circulação cardíaca, se une ao homem visível, em um gesto notável de doação para o bem da ciência.

Foi estabelecido que as imagens deveriam ser de três tipos: tomografia computadorizada do cadáver a fresco e congelado, imagens de ressonância magnética e de secções congeladas. Após serem feitas as tomografias, o cadáver foi totalmente desbastado por meio de uma lâmina na forma de disco que cortava de 1 em 1 mm os tecidos congelados, expondo a cada passada uma nova superfície a ser fotografada. Depois, aquela camada era destruída para expor uma nova (na mulher, as camadas foram ainda mais finas: 0.3 milímetro). As secções foram fotografadas com câmeras digitais de alta resolução. São 1.878 secções para cada modalidade (tomografia de secções a fresco e congeladas, ressonância magnética e secções anatômicas) no cadáver masculino e cinco mil da mulher (por cada modalidade também), completando assim, um total de 19.000 imagens com 56 Gigabytes (15 Gb no homem e 41 Gb na mulher). A Figura 2.4 mostra a imagem do cérebro tridimensional do *Visible Human*.

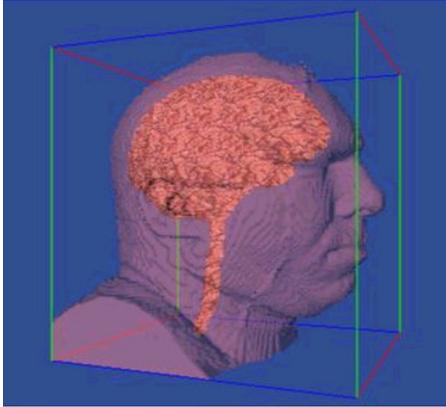


Figura 2.4 – Imagem tridimensional do cérebro do *Visible Human*.
(Fonte: <http://www.visiblehuman.com/gallery>)

Radioterapia

Segundo Westwood et al. (1998), uma outra área interessante é a Radioterapia. Na luta contínua do tratamento do câncer, um dos métodos mais usados para destruir tumores é a Radioterapia. O conceito básico do tratamento de Radioterapia é posicionar vários feixes de radiação de forma que eles atravessem o tecido saudável sem causar nenhum dano e destruam o tecido canceroso na exata região onde estes feixes se interceptam. É um procedimento complicado e o radiologista deve possuir um entendimento bastante apurado da anatomia humana. Como não é possível olhar através do corpo para realizar o planejamento, os radiologistas usam uma série de chapas de raio-X e precisam "reconstruir" mentalmente a estrutura anatômica tridimensional do paciente, a partir de imagens 2D. Normalmente o resultado deste procedimento é a aplicação de um tratamento "não-ótimo" sobre o paciente, tendo-se como consequência ganho menor do que se poderia esperar e mais efeitos colaterais do que se desejaria.

Algumas pesquisas recentes já permitem que se crie um modelo computacional do corpo do paciente e se sobreponha a estes modelos a representação gráfica da radiação. Nestes sistemas o médico senta em frente a um monitor e manipula a posição do paciente e a direção/intensidade dos raios.

Entretanto, mesmo sendo possível a criação de modelos anatômicos computacionais bastante realistas ainda é um problema a tarefa de posicionamento dos feixes de radiação. A Universidade de Carolina do Norte está desenvolvendo um método alternativo para o planejamento das sessões de radioterapia. Ao invés de sentar-se em frente a um monitor, o médico usa um HMD e realmente caminha ao redor do modelo gráfico do paciente, analisando as áreas de interesse, a partir do ângulo que mais lhe convém (KIRNER, 1996).

Usando o sistema, o médico pode posicionar-se em qualquer lugar, inclusive na posição de onde os raios partem, e assim "ver" de fato por onde eles irão passar. A manipulação dos feixes, realizado com um dispositivo preso à mão do médico torna-se mais fácil e intuitiva devido à imersão no ambiente virtual. A Figura 2.5 ilustra a imagem da simulação cirúrgica para remover tumores cerebrais.



Figura 2.5 – Simulação cirúrgica para remover tumor cerebral
(Fonte: www.fundanet.br/ppgcc/terv/realidadeaumentada/aula02)

Simulação de endoscopia

No caso dos simuladores de endoscopia, a maioria dos protótipos encontrados na literatura têm como foco principal a representação da deformação dos órgãos (YAGEL et al., 1996; KÜHNAPFEL et al., 2000). Assim, imagens obtidas por ressonância magnética são utilizadas para a reconstrução dos modelos tridimensionais com o método de elementos finitos ou com malhas com dinâmica massa-mola (GIBSON e MIRTICH, 1997). Nesta aplicação, o computador gera um modelo artificial, mas altamente realista, do trato gastrointestinal. Manipuladores semelhantes aos de um endoscópio enviam informações para o computador, o qual gera em consonância com os movimentos realizados com o tubo e a cabeça do endoscópio pelo aluno. Durante a simulação, o usuário pode sentir e visualizar a passagem do endoscópio.

Uma característica dos simuladores de endoscopia é que eles podem ser expandidos para diferentes aplicações, como broncoscopia, colonoscopia, ureteroscopia, etc. desde que gerados os modelos tridimensionais adequados, fator que viabilizaria os custos de um produto comercial (BRO-NIELSEN et al., 1999). Algumas imagens reais podem ser acopladas, dando mais realismo. Essa é uma característica interessante do simulador PreOpTM, desenvolvido pela empresa *HT Medical Systems Inc.* Usa-se a idéia de simulação multimídia, pois o sistema inclui, além de vídeos, explicações teóricas, dividindo o ensino da técnica em etapas (BRO-NIELSEN et al., 1999). No entanto, a complexidade e a qualidade dos gráficos apresentados e as deformações a serem executadas em tempo-real estão condicionadas à capacidade de processamento, fator que pode ser observado em simuladores de endoscopia como determinante para o

uso de máquinas de alto desempenho (SZÉKELY et al., 1999) (BRO-NIELSEN et al., 1999). A Figura 2.6 mostra um exemplo de simulador de endoscopia utilizando um manequim de plástico.

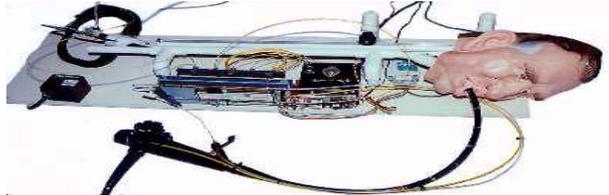


Figura 2.6 – Manequim para simulação de endoscopia. (Fonte: <http://www.epub.org.br>)

Outro exemplo interessante citado por Webster et al. (2001) e Haluck et al. (2000) é de um simulador de microcirurgias (Figura 2.7), onde um equipamento especial gera a imagem de vasos e nervos como se estivesse sendo observada por um estereomicroscópio e permite sua manipulação com instrumentos cirúrgicos dotados de sensores de posição e atuação. Um dos melhores exemplos é de um simulador de microcirurgias do ouvido médio, que tem a capacidade de mostrar ao aluno qual é o movimento correto dos instrumentos no campo cirúrgico.



Figura 2.7 - Imagem de um treinamento em prática de sutura sendo executado em um simulador [HALUCK et al., 2000]

Outros exemplos de modalidades contempladas com simuladores baseados em Realidade Virtual são: exame de toque para detecção de câncer de próstata (BURDEA et

al., 1999), planejamento de cirurgias maxilofaciais (SCHUTYSER et al., 1999) e planejamento de neurocirurgias (GUAN et al., 1998).

Telemedicina e Telerobótica

A telemedicina é o uso das tecnologias de telecomunicação para a interação entre profissionais de saúde e pacientes, com a finalidade de realizar ações médicas à distância (SABBATINI, 1993).

Beneficiam-se da telemedicina e da telerobótica as instituições de saúde em uma grande variedade de situações, principalmente aquelas em que a medicina convencional não está disponível facilmente. A medicina tenderá a se globalizar cada vez mais, ao tornar possível a interação entre médicos situados em diferentes países (HUNTER et al., 1995).

Um exemplo simples e interessante de telemedicina, citado por Maceratini (1994), é a tecnologia conhecida como "monitoração cardíaca transtelefônica". O paciente usa um cardiobipe, um pequeno aparelho eletrônico. Depois de colocar três eletrodos em contato com o corpo, o paciente pressiona um botão no cardiobipe e recolhe alguns segundos do seu eletrocardiograma (ECG), que é armazenado na memória eletrônica. Em seguida, telefona para uma central de atendimento, se identifica, encosta o aparelho no bocal do telefone e pressiona outro botão, enviando o eletro pelo telefone. Em questão de poucos minutos, recebe pela mesma ligação uma orientação do médico de plantão, que analisou seu ECG, passando-lhe recomendações. Estudos científicos demonstraram os benefícios dessa tecnologia em muitos aspectos, inclusive

para uso no consultório de médicos que realizam cirurgias ambulatoriais. Antes de realizar a anestesia, realizam um eletro à distância e podem operar com mais segurança, evitando ocorrências cardíacas durante a mesma.

Em relação a robótica, Azuma (1997) salienta que uma grande área que está se abrindo para a medicina é chamada de robótica médica, que consiste no acionamento de um robô cirúrgico à distância, através de uma rede ou por rádio, é chamada de telerobótica.

Hunter (1995) afirma que o médico pode treinar cirurgias complexas e delicadas como micro-suturas de vasos sanguíneos, usando um equipamento de Realidade Virtual que permite simular o uso de tesouras, pinças e outros instrumentos cirúrgicos reais sobre uma imagem virtual. Um robô de três braços se converte em mãos de um cirurgião, realizando os mesmos movimentos de seu punho e dedos, permitindo ao cirurgião operar um paciente há quilômetros de distância. Eventualmente, essa aplicação poderá se transformar em uma cirurgia realizada à distância. A Figura 2.8 (a) ilustra o cirurgião manipulando o robô e a Figura 2.8 (b) ilustra a cirurgia sendo realizada através de uma rede.



(a)

(b)

Figura 2.8 - Cirurgia gastrointestinal usando um sistema de telerobótica: (a) Cirurgião manipulando o robô; (b) Paciente em cirurgia. (Fonte:<http://www.simsurgery.no/resources/DigitalTrainer.htm>)

CAPÍTULO 3 - REALIDADE VIRTUAL NA ULTRA-SONOGRAFIA

No capítulo anterior foi enfatizada a importância da Realidade Virtual na Medicina e algumas das suas aplicações, neste capítulo são apresentadas aplicações da Realidade Virtual especificamente na Ultra-sonografia, que constitui o escopo deste trabalho.

3.1 – Conceitos básicos de Ultra-sonografia

A Ultra-sonografia, um método de exame médico baseado na reflexão de som, é uma técnica de imagem que teve grande desenvolvimento durante os últimos anos. É um dos métodos, dentre os exames de diagnóstico por imagem, mais utilizados no rastreamento de doenças, especialmente por ser não invasivo, ter boa sensibilidade e baixo custo, permitindo o exame de órgãos abdominais, pélvicos e estruturas superficiais como mama, tireóide, globo ocular e sistema músculo-esquelético (BEGA, 2001).

Ainda de acordo com Bega et al. (2001), a primeira aplicação do Ultra-som na Medicina ocorreu em 1942. Naquela época, o que se via na tela eram traços produzidos por ondas sonoras emitidas pelo aparelho. Com a evolução do exame, foi possível obter fotos bidimensionais.

O aumento da capacidade dos computadores fez com que as imagens pudessem ser mostradas de forma mais rápida. Com a evolução da tecnologia apareceu o Ultra-som tridimensional (3D), com imagens coloridas e em tempo real (BEGA et al., 2001).

Bega et al. (2001) salientam que a função do Ultra-som vai além de apontar o sexo de bebê em mulheres grávidas. A técnica acusa malformações, fazendo um retrato mais fiel de estruturas fetais como face, mãos, pés e coluna vertebral. Em adultos, o Ultra-som 3D ajuda a avaliar tumores e a verificar o volume dos órgãos.

Na Ultra-sonografia convencional (bidimensional) as imagens obtidas são “fatias” do feto, com detalhes das estruturas internas, com as quais o examinador consegue formar uma imagem mental em três dimensões. Esta capacidade do examinador depende da sua experiência prática e de uma boa percepção espacial. O exame é realizado em tempo real, sendo possível avaliar a movimentação fetal.

Na Ultra-sonografia tridimensional (US 3D), o aparelho armazena um certo volume de informações, isto é, várias “fatias” de imagens do feto e, posteriormente, essas informações são processadas e analisadas, como ocorre nos exames de tomografia computadorizada e ressonância magnética.

Existem recursos que possibilitam a visualização da superfície do feto, tornando possível a produção de uma imagem bastante semelhante a uma foto do mesmo. Por isso o método tem se revelado útil no estudo da anatomia fetal, permitindo uma melhor avaliação das características e relações espaciais entre as partes fetais. As imagens obtidas são de mais fácil entendimento para pessoas sem treinamento na área, como médicos de outras especialidades e pacientes.

As vantagens do US 3D sobre o Ultra-som bidimensional (US 2D) em obstetrícia, segundo Bega et al (2001) são:

- 1) A possibilidade de armazenar dados digitalizados, para revisão posterior.

- 2) Manipulação interativa dos dados, de modo a obter ângulos de visão não possíveis em tempo real.
- 3) Possibilidade de avaliação simultânea das imagens multi-planares e da superfície.
- 4) Apresentação das imagens de uma maneira padronizada, melhorando o entendimento da anatomia fetal.
- 5) Demonstração da anatomia fetal com imagens mais realistas, de mais fácil compreensão para não-especialistas.
- 6) Possível aumento do vínculo emocional materno-fetal.
- 7) Melhor avaliação da extensão e localização das malformações fetais.
- 8) Possibilidade de uma mensuração mais precisa dos volumes, especialmente útil para estruturas irregulares.

Os autores ressaltam que esta técnica não substitui o US 2D, sendo uma complementação, uma ferramenta para resolver problemas na realização do exame.

De acordo com Steiner et al. (2002), as limitações do US 3D são semelhantes às do US 2D, como artefatos devidos à movimentação fetal, dificuldade de obter imagens em casos de redução do líquido amniótico e baixa resolução nos planos paralelos próximos ao plano de aquisição.

Se a resolução com o US 2D não for boa, a qualidade da imagem do US 3D também não vai ser boa. Esta é uma técnica que ainda está em desenvolvimento e, apesar dos avanços recentes, ainda precisa de melhorias, como redução do tempo necessário para a aquisição e processamento das imagens, transdutores menores e mais leves, maior resolução das imagens e mensuração automática dos volumes.

Em contraposição às suas vantagens, algumas limitações do US 3D são destacadas por Steiner et al. (2002):

- 1) É um método ainda muito dependente do operador, havendo necessidade de uma boa habilidade com as técnicas de Ultra-som convencionais e ainda facilidade de visualização de imagens em três planos ortogonais.
- 2) O tipo de aparelhagem tridimensional influencia positiva ou negativamente na qualidade do resultado final. Os aparelhos que possibilitam o Ultra-som 4D¹, podem uniformizar mais este limitante técnico.
- 3) A posição fetal deve ser adequada, pois a interposição de outras estruturas como, por exemplo, membros e cordão sobre a estrutura a ser examinada poderão gerar artefatos e impedir uma adequada visualização. Neste sentido a imagem bidimensional da estrutura a ser observada deve ser excelente para que a sua reconstrução em três dimensões também seja de boa qualidade.
- 4) A movimentação fetal é outro fator limitante uma vez que durante a aquisição volumétrica, a estrutura a ser examinada deve estar de preferência imóvel para que a imagem em 3D não apresente artefatos semelhantes a borrões.
- 5) O biótipo materno influencia sobremaneira qualquer tipo de técnica de imagem de Ultra-som. Assim, o sobrepeso materno ou apenas o acúmulo abdominal de tecido adiposo poderá colaborar para uma baixa qualidade técnica do Ultra-som.
- 6) As gestações múltiplas apresentam limitações principalmente pela interposição de uma parte fetal de um gemelar¹ sobre a do outro a ser observada

¹ 4D – quatro dimensões – técnica que permite observar toda a movimentação fetal.

e também pela movimentação de um gemelar podendo prejudicar a aquisição de imagem de si mesmo ou do outro gemelar.

7) Para a visualização da face, a idade gestacional também pode limitar o exame, sendo ideal sua realização entre 28 a 32 semanas de gestação. Idades gestacionais superiores a 32 semanas poderão oferecer um exame de difícil avaliação pela diminuição fisiológica de líquido amniótico e aumento fetal havendo, na maioria das vezes, interposição de estruturas que poderão até mesmo inviabilizar o exame.

Nas Figuras 3.1 (a), 3.1 (b) e 3.1 (c) são ilustradas as diferenças de resolução de imagem real para o US 2D e para o US 3D.



(a)

(b)

(c)

Figura 3.1 - Diferenças na resolução de imagens do Ultra-som 2D para o Ultra-som 3D: (a) Imagem real de uma criança; (b) Imagem da criança em um Ultra-som 2D; (c) Imagem da criança em um Ultra-som 3D. (Fonte: www.gemedicalsystems.com/rad/us/products/log_700expert/msu612.html)

Segundo Bluth (2002), através de exames de Ultra-som é possível realizar no primeiro trimestre de gravidez a medida da translucência nucal¹, quando o feto está numa posição que não permite a adequada mensuração. Nos segundo e terceiro

¹ Gemelar - gêmeo

trimestres é possível fazer a medição do volume dos órgãos para avaliação do desenvolvimento e crescimento fetais, anomalias e estudo dos efeitos de infecções e doenças como a isoimunização. É possível obter, também, a estimativa mais acurada do peso fetal, usando o volume dos membros como parâmetros e avaliar o volume pulmonar, estudar a superfície fetal, avaliar o coração, o colo uterino e comprimento.

As Figuras 3.2 (a) e 3.2 (b) ilustram um feto com aproximadamente 20 semanas de idade, enfocando as diferenças entre imagens bidimensional e tridimensional.

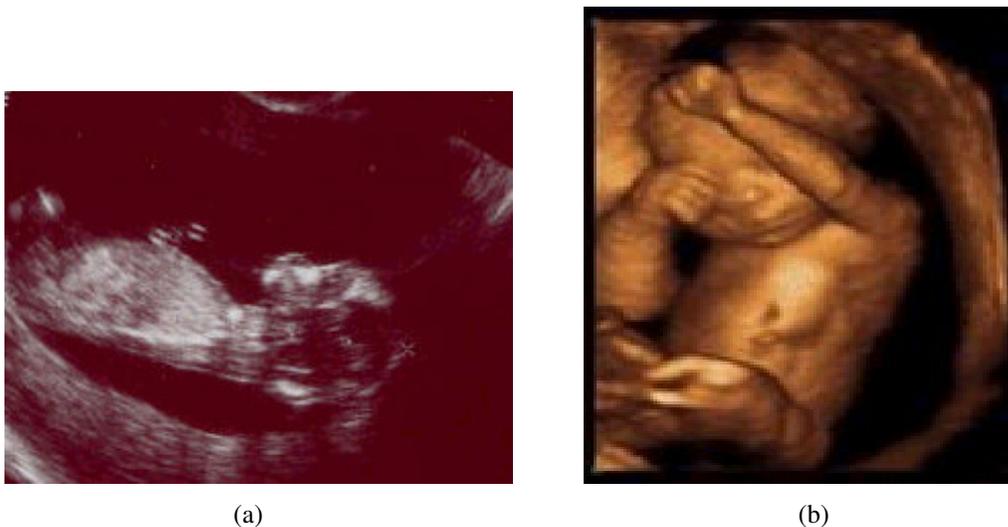


Figura 3.2 – Imagem de Ultra-som ilustrando o crescimento do feto com aproximadamente 20 semanas de idade dentro do útero da mãe: (a) Imagem de uma criança em um Ultra-som 2D; (b) Imagem de uma criança em um Ultra-som 3D.

Fonte: www.pregnancyweekly.com/topics/ultrasound/ultrasound_3d.htm

¹ Translucência nucal – exame realizado na nuca do feto

3.2 - Aplicações de Realidade Virtual a partir de imagens de Ultra-som

Os sistemas de produção de imagens médicas, como ressonância magnética e Ultra-som representam um campo fértil para a Realidade Virtual. Alguns pesquisadores estão trabalhando para desenvolver e operar um sistema que permite ao médico ver diretamente o interior do paciente, usando a Realidade Aumentada, que combina computação gráfica com imagens do mundo real (NETTO, 2002).

3.2.1 - Ultra-som obstétrico

De acordo com Livingston (1998), o uso do computador para a geração de imagens é um processo indispensável, indo desde à captura desta imagem até a conclusão do que está sendo representado nela. Usando a Realidade Aumentada, quando um médico faz uma Ultra-sonografia, ele interpreta as imagens bidimensionais exibidas e, com base em sua experiência, consegue diagnosticar problemas. Os sistemas de Ultra-som apresentam imagens em uma tela. Assim, para poder examiná-las o médico precisa tirar os olhos do paciente e olhar para a tela. Isto muitas vezes causa dificuldades para que o médico “integre mentalmente” a imagem da tela com o corpo do paciente.

Pensando neste problema, pesquisadores da Universidade da Carolina do Norte buscaram uma forma de exibir o resultado do exame no corpo do próprio paciente (ACKERMAN, 2000). A idéia é colocar no médico um óculos com lentes de cristal líquido para que, através destas lentes, o médico veja o resultado do exame como se estivesse sobreposto ao corpo do paciente, como mostra a Figura 3.3.



Figura 3.3 – Imagem do sistema do Ultra-som obstétrico: (a) Ultra-som passando sobre a barriga da gestante; (b) Visualização do médico. (Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/us/>)

Em tempo real, o sistema transforma a imagem captada pelo *scanner* de Ultra-som, converte esta imagem para a posição do médico e a exibe nas lentes dos óculos. De acordo com os pesquisadores, a qualidade e a precisão do exame feito com um sistema deste tipo é muito maior que o sistema tradicional. Isto ocorre principalmente por que o médico pode “olhar dentro” do corpo do paciente de uma forma muito mais natural e intuitiva, simplesmente mexendo a cabeça. A Figura 3.4 exemplifica o funcionamento e a visão que o médico tem a partir do sistema.

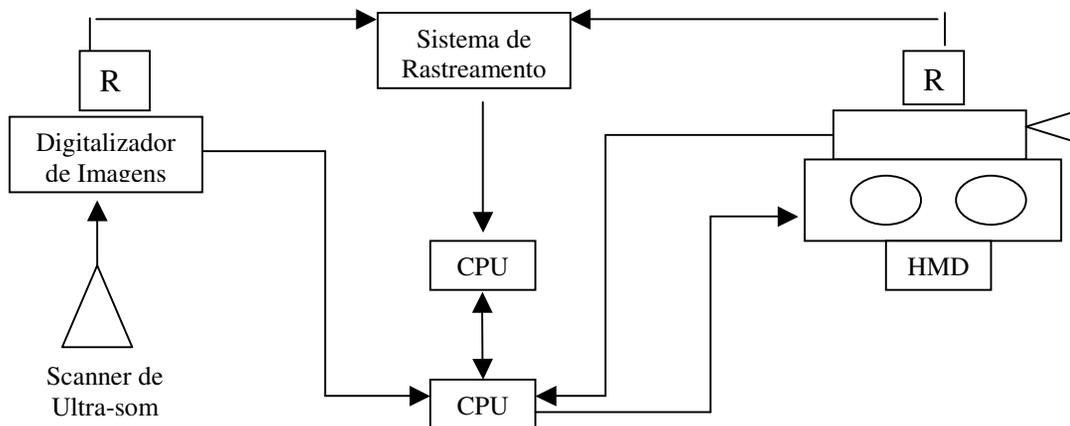


Figura 3.4 – Sistema de Ultra-sonografia usando Realidade Virtual. (Fonte: <http://www.dc.ufscar.br/~grv/tutrv/tutrv.htm>)

3.2.2 - Ultra-som para biópsia de mama

Segundo Ackerman (2000), atualmente a biópsia de lesões mamárias orientada pelo Ultra-som tem sido usada com a finalidade de diagnóstico substituindo parcialmente intervenções com cirurgias abertas.

O Ultra-som orientado também é frequentemente usado pela localização da agulha em algumas lesões antes da biópsia, assim como a aspiração de cisto. No entanto, é difícil para profissionais aprender e realizar o Ultra-som orientado por tais intervenções. É preciso uma boa coordenação entre as mãos e os olhos além da habilidade de visualização tridimensional para orientar a biópsia de agulha e, assim, atingir a área do tecido com a ajuda da imagem do Ultra-som.

Acreditando que o uso da visão tecnológica da Realidade Aumentada pode simplificar significativamente o aprendizado e desempenho de intervenções com o Ultra-som orientado, essa aplicação constrói um sistema que ajuda o médico a desempenhar uma biópsia Ultra-sonográfica guiada por uma agulha. A Figura 3.5 mostra como é a operacionalização do exame com o sistema.

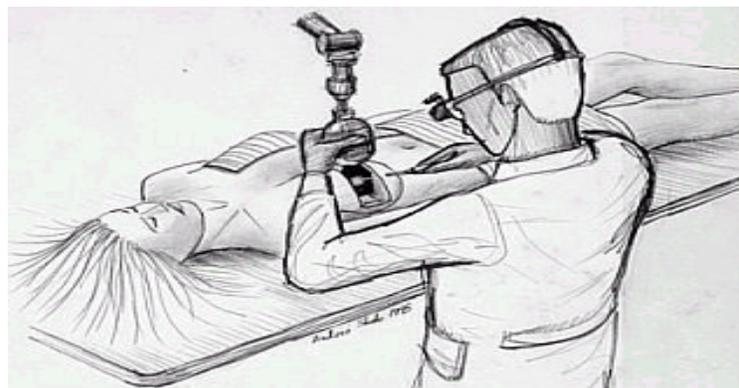


Figura 3.5 – Sistema do Ultra-som para biópsia de mama. (Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/us/>)

Ainda de acordo com Ackerman (2000), o sistema do Ultra-som para biópsia de mama é de alta velocidade e apresenta texturização de imagem. Esse sistema provê fatias de Ultra-som de alta resolução e renderização para mais de 16 milhões de pixels. A Figura 3.6 mostra a visualização do médico que está realizando o Ultra-som.

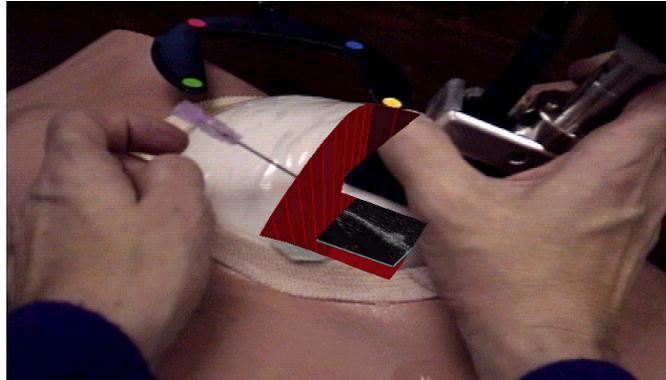


Figura 3.6 – Visualização do médico realizando a biópsia. (Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/us/>)

3.2.3 – Laparoscopia

Segundo Haluck et al. (2001), afirmam que apesar de séculos em desenvolvimento, muitas cirurgias hoje estão no mesmo nível que as cirurgias de 100 anos atrás, pois os cirurgiões têm cortado muitas camadas de tecidos saudáveis do paciente para atingir a estrutura interessada. Desse modo acabam machucando a pele saudável.

Tecnologias recentes estão sendo desenvolvidas para diminuir o número de cortes de várias camadas da pele saudável do paciente, permitindo ao cirurgião visualizar aspectos da anatomia e fisiologia do paciente sem interromper o tecido de intervenção. Os métodos de imagem como a ecografia de Ultra-som tornam possíveis a

orientação segura dos instrumentos através do corpo, sem a visão direta do médico. Além disso, tecnologias ópticas tais como a laparoscopia permitem o desempenho de procedimentos inteiros com o mínimo de cortes no paciente. A partir dessas considerações, o pesquisador considera que as novas tecnologias de Realidade Aumentada trazem as vantagens da visualização direta da cirurgia aberta diminuindo a invasão no corpo do paciente como as cirurgias feitas anteriormente.

As informações geradas pelas imagens aumentam a visão do médico, permitindo que ele se mova livremente ao redor do paciente enquanto olha o interior do mesmo. Um cirurgião pode ser capaz, por exemplo, de ver a localização exata da lesão do fígado de um paciente, em três dimensões, sem fazer alguma incisão. Um cirurgião de laparoscopia pode ser capaz de ver a *pneumoperitoneum*, ou seja, a existência de ar ou de gás na cavidade peritonial (membrana que forra a cavidade abdominal) de qualquer ângulo, apenas virando-se naquela direção, sem a necessidade física de ajustar a câmera endoscópica.

A Realidade Aumentada pode ser capaz de liberar o cirurgião das limitações técnicas dos equipamentos de imagem e visualização, recapturando a simplicidade física da cirurgia aberta. A Figura 3.7 ilustra esse exemplo.

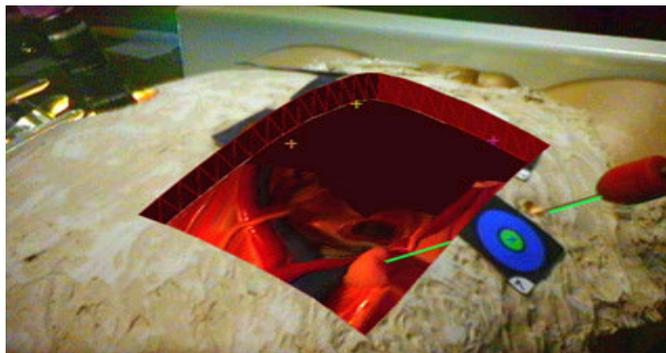


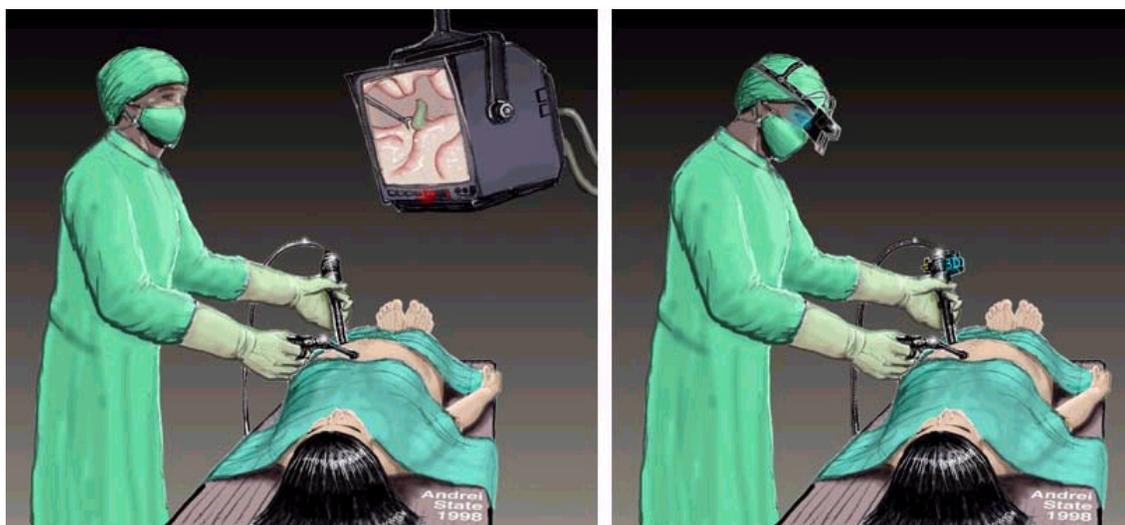
Figura 3.7 – Cirurgia de laparoscopia através do Ultra-som. (Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/us>)

O sucesso da laparoscopia como uma técnica cirúrgica geral deriva de sua habilidade de criar um trajeto ótico no interior do paciente com apenas uma perfuração na pele. É uma ferramenta de intervenção e visualização poderosa. No entanto, a laparoscopia sofre com limitações visuais, as quais pesquisadores buscam resolver.

A idéia para resolver esse problema é desenvolver uma tecnologia para extrair automaticamente informações interiores e estruturas geométricas por dentro do paciente. Usando esta informação, o sistema deve ser capaz de construir novas visões ativas para estruturas-alvo, considerando outros ângulos além daquele o qual ele está olhando.

Sempre mostrando a área que se está operando do ponto de vista do cirurgião, a disparidade entre os movimentos da mão dele e os movimentos percebidos dos instrumentos é eliminada, melhorando, assim, a coordenação mãos-olhos.

A Figura 3.8 (a) ilustra como era feita a cirurgia de laparoscopia e a Figura 3.8 (b) mostra como é feita tal cirurgia com a nova tecnologia.



(a)

(b)

Figura 3.8 – Cirurgia de laparoscopia: (a) Cirurgia tradicional de laparoscopia; (b) Cirurgia de laparoscopia com a nova tecnologia. (Fonte: <http://www.cs.unc.edu/Research/us/>)

CAPÍTULO 4 - CONSTRUÇÃO DE HUMANOS VIRTUAIS

No Capítulo 3 foi visto que a tecnologia utilizando Realidade Virtual na Ultrasonografia está crescendo, fornecendo ganho na visualização de estruturas e podendo auxiliar na diminuição de erros de diagnóstico aumentando, assim, a segurança em cirurgias.

O motivo para incluir a construção de humanos virtuais neste trabalho consiste basicamente nas considerações necessárias para a modelagem tridimensional do ser humano, pois o projeto proposto visa a representação tridimensional de fetos. As características que devem ser observadas na construção de humanos virtuais constituem uma preocupação principalmente de sistemas que necessitam de avatares.

Avatares são representantes do usuário no mundo sintético. Podem ser utilizados apenas para que o usuário tenha algo que o represente no ambiente, ou para participar ativamente através da execução de funções e da exibição de comportamentos.

Conforme Teichrieb (1999), os avatares podem ser utilizados como representantes gráficos simples do usuário em mundos virtuais tridimensionais, nos quais o seu objetivo é aumentar o grau de realismo para os visitantes, permitindo que estes se sintam mais imersos no ambiente e menos desorientados, ou como guias interativos que possuem conhecimento embutido sobre o ambiente no qual habitam e comportamento próprio que executam alguma ação, depois de receberem uma seqüência de percepções. Estes avatares devem ser capazes de “entrar em sintonia” com o usuário, estabelecendo um diálogo para extrair dele informações que lhe permitirão melhor

auxiliá-lo.

Ainda, conforme Teichrieb (1999), avatares com características físicas distintas proporcionam ao usuário a possibilidade de selecionar ou construir um representante que o identifique satisfatoriamente. Possuindo conhecimento sobre as informações representadas no ambiente, o avatar poderá oferecer um maior auxílio ao usuário, informando-o sobre o conteúdo disponível. Além disso, comportamentos diferentes de acordo com a situação dão ao usuário a ilusão de realismo, fazendo-o se sentir mais imerso no ambiente.

4.1 - Características de humanos virtuais

Em relação à construção de avatares, Maestri (1996) afirma que:

Construir um avatar trata-se de dar vidas a personagens. Antes de modelar e animar uma personagem, entretanto, é preciso refletir sobre o seu *design*. O *design* de uma personagem pode ser tão simples como um esboço ou tão complexo como uma escultura completamente representada. O *design* serve como um simples mapa, um plano de ação para a criação de uma personagem digital.

O termo *design* significa tomar decisões sobre suas personagens como, por exemplo, se serão altas ou baixas, as texturas que serão usadas na pele e que tipo de roupas vão usar e decidir também o quão realístico ou estilizado serão feitas as personagens. Essas decisões estão todas interrelacionadas, pois se a aplicação desejar uma personagem realística, provavelmente terá que modelá-la com características reais,

exigindo um conhecimento de anatomia.

Primeiramente, uma personagem com um bom *design* transmite personalidade e além da aparência externa da personagem, também é preciso criar considerando-se os aspectos de animação.

De acordo com Maestri (1996), os *designs* caem em duas categorias: realístico ou estilizado. *Designs* realísticos tentam imitar a realidade. Se o sistema precisa criar estruturas realistas, é preciso fazer o *design* de acordo com a natureza, pois criar uma boa animação de uma personagem realista requer detalhado conhecimento de anatomia e movimento. *Designs* estilizados são caricaturas ou paródias da realidade e nos dão muito mais alternativas. Se o público vê na tela uma imagem perfeita de um ser humano, eles esperam que ele aja como uma pessoa, pois se a personagem estiver um pouco distanciada das ações dos seres humanos, a ilusão se perde.

As personagens não apenas precisam ter boa aparência como também ter boa animação. Há muitas formas de definir uma personagem para animação. Pode ser necessário dividir a personagem em segmentos individuais e religá-los numa hierarquia. Também pode significar ter de estabelecer um sistema de Cinemática Inversa para tornar os segmentos fáceis de animar. Se for criado uma personagem sem emendas, é preciso modelá-la corretamente, com detalhes extras nas juntas, de modo que se deformem naturalmente. Pode também ser preciso definir um esqueleto de ossos digitais nos corpos humanos.

Maestri (1996) lembra que antes de criar uma personagem, é preciso decidir exatamente como ela será construída e animada. Primeiramente, é necessário decidir que

tipo de geometria será usada. A animação geralmente trata duas classes principais de geometria: polígonos e *splines*. Polígonos são triângulos ou quadrados que definem pequenas áreas da superfície da personagem. Cada polígono define uma pequena superfície plana: ao se integrar uma série destes polígonos podemos criar superfícies de formas complexas. Para obter uma superfície suave precisa-se de uma grande quantidade destes pequenos planos. Quando se trata de formas orgânicas, como as personagens, o imenso número de vértices necessários para uma superfície poligonal suave pode se mostrar inadequada quando comparada com outros métodos de modelagem. Quando se tem um grande número de polígonos, não é possível movê-los individualmente e esperar que o modelo permaneça homogêneo. A Figura 4.1 mostra um exemplo de imagem 3D criada a partir de polígonos.

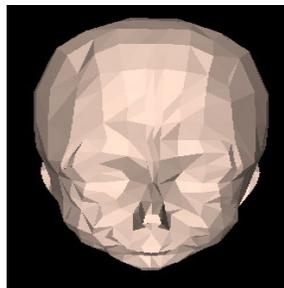


Figura 4.1 - Exemplo de polígono.

Uma *spline* é uma curva. Várias *splines* podem ser integradas para definir uma suave superfície curva, denominada *fragmento*. Um *fragmento* define uma área bem mais ampla do que um único polígono e esta área é perfeitamente suave, fazendo as *splines* uma maneira ideal para criar modelos orgânicos como as personagens. A *spline* permite ao usuário que ele defina uma superfície muito complexa com poucos pontos porque elas definem apenas a superfície dos objetos que criam (MAESTRI, 1996).

4.2 – Criação de uma personagem segmentada

Segundo Maestri (1996), a forma mais fácil de criar uma personagem é uma junta por vez, cada uma sendo um segmento individual. Para retratar uma personagem segmentada, o manequim clássico de uma personagem construída a partir de blocos individuais de madeira unidos com pinos de metal nas juntas é um bom exemplo. A Figura 4.2 ilustra exemplo de manequim segmentado.



Figura 4.2 – Manequim segmentado. (Fonte: Maestri (1996))

Modelar as juntas separadamente torna-as fáceis de construir e a personagem é mais fácil de manusear ao ser animada, como ilustram as Figuras 4.3 (a) e 4.3 (b).

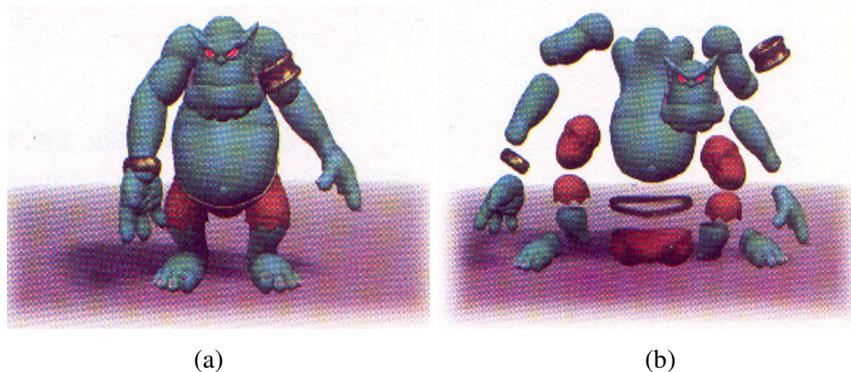


Figura 4.3 – Modelagem de personagem: (a) mais complexa feita de segmentos a partir de *splines* e polígonos; (b) A personagem apresenta as partes individuais. (Fonte: Maestri (1996))

4.2.1 – Pivôs e rotação das juntas

Conforme Maestri (1996), ao criar uma personagem segmentada, é preciso informar ao software como se articulam as juntas do seu corpo. A perna, por exemplo, gira pelo joelho. Ao criar um objeto, como um segmento de perna, o software não sabe que se pretende que seja uma perna e não tem nenhuma idéia de que a perna gira no joelho. Simplesmente atribui o pivô a um ponto arbitrário, normalmente o centro físico do objeto. Pontos arbitrários não são aceitáveis. É necessário verificar e retribuir os pontos de pivô para todos os segmentos.

O antebraço gira no cotovelo, a coxa nos quadris, a cabeça tem o pivô no pescoço e assim por diante. A Figura 4.4 (a) ilustra o antebraço girando em torno de seu pivô, o centro do objeto e a Figura 4.4 (b) ilustra que para fazer o antebraço girar adequadamente é preciso retribuir o ponto de pivô, de forma que ele gire no cotovelo.

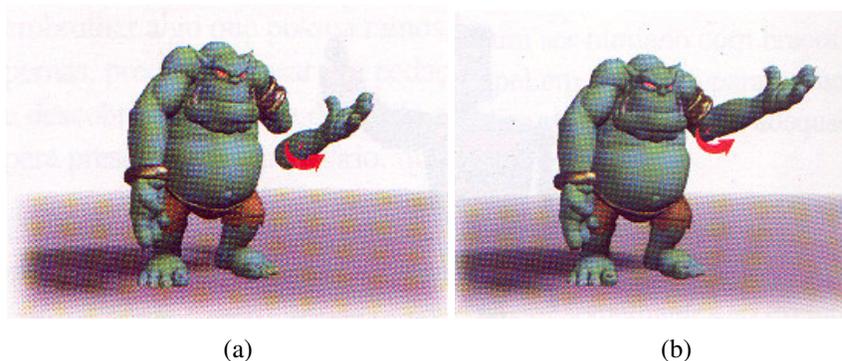


Figura 4.4 – Exemplo de pivô e rotação das juntas: (a) antebraço girando em torno do pivô; (b) girando o cotovelo. (Fonte: Maestri (1996))

4.2.2 – Hierarquia

Beitler (2001) e Maestri (1996) explicam que a *hierarquia* é uma forma de indicar ao computador como a personagem é montada. A hierarquia indica ao *software* que o osso do pé está ligado ao osso do tornozelo, que está ligado ao osso da perna e assim por diante. Os quadris são os pais de todas as juntas. Se mover os quadris, tudo se move junto. A Figura 4.5 ilustra a hierarquia básica do corpo humano.



Figura 4.5 – Hierarquia básica do corpo humano. (Fonte: Maestri (1996))

4.3 – Cinemática direta

Maestri (1996) lembra que a *cinemática direta* manipula a personagem do topo da hierarquia para baixo. Se mover o quadril da personagem, na Figura 4.5, todo o corpo se move, se girar o cotovelo, o pulso se move. Quando é usada a cinemática direta, logo percebe-se que girar as juntas da personagem é a única forma de deslocar as partes de

seu corpo.

Se o criador desejar colocar a mão da personagem em uma xícara de café, por exemplo, primeiro gira-se os ombros, então o cotovelo, em seguida os pulsos e os dedos, encontrando o caminho do topo da hierarquia para baixo. Cada rotação leva a mão mais perto da xícara. Não se pode mover a mão até a xícara e esperar que o resto do braço a siga. A pelve é a única exceção a esta regra. Como este é o pai de todo o resto, pode-se mover a pelve para qualquer lado e o resto do corpo a segue.

A Figura 4.6 ilustra as etapas de como a personagem deve colocar a mão sobre o bloco. Na Figura 4.6 (a) a personagem é ilustrada antes de colocar a mão sobre o bloco usando a cinemática direta e na Figura 4.6 (b) é mostrado que é preciso girar o braço na altura do ombro. A Figura 4.6 (c) mostra, então, o cotovelo que, ao manipular uma personagem usando a cinemática direta, trabalha-se do topo da hierarquia para baixo.

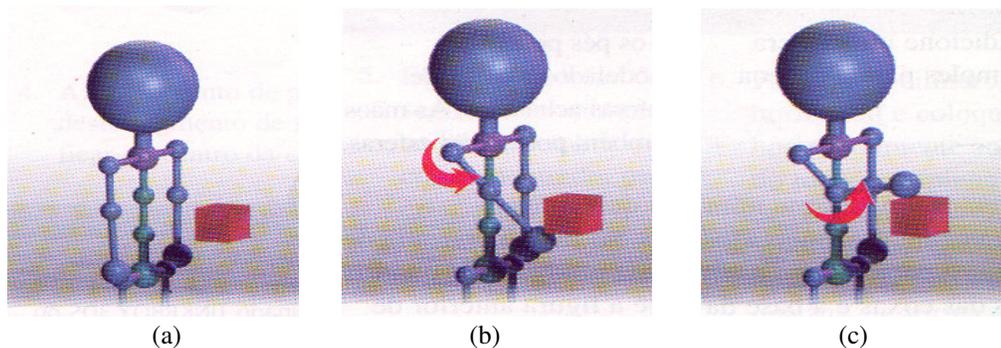


Figura 4.6 – Etapas de como a personagem deve colocar a mão sobre o bloco. (a) Posição normal; (b) Levantando o braço; (c) Mão sobre o bloco. (Fonte: Maestri (1996))

4.4 - Cinemática inversa

De acordo com Maestri (1996), “a *cinemática inversa* (CI) é outra forma de

manipular uma personagem, sendo oposto exato da cinemática direta”. Nesta abordagem, o movimento dos filhos faz mover os pais. A Cinemática Inversa é simples de usar.

Usando o exemplo anterior, coloca-se a mão da personagem sobre a xícara de café e o braço a segue automaticamente. Porém, o *software* precisa determinar exatamente como dobrar o resto do braço e do corpo, de forma que tudo pareça natural. Por exemplo, para fazer uma personagem colocar a mão no bloco usando a CI, é preciso arrastar a mão até o bloco. O computador gira o resto das juntas para o usuário, como mostra a Figura 4.7.



Figura 4.7 – O computador gira o resto das juntas para o usuário. (Fonte: Maestri (1996))

4.5 – Modelagem de estruturas do corpo humano

Nesta seção serão abordadas a modelagem do corpo humano e suas características.

4.5.1 – A estrutura das mãos e dos pés

Juntamente com a face, as mãos podem ser uma das partes mais expressivas do corpo humano, pois, além de comunicar, ela manipula e constrói.

De acordo com Beitler (2001) e Thalmann (1999), a mão é uma estrutura muito complexa, com dezenas de ossos, músculos e tendões, tudo recoberto com uma pele. Embora as mãos sejam estruturas complexas, elas podem ser imaginadas como uma reunião de formas simples. A palma da mão é basicamente uma caixa retangular, com os dedos como cilindros anexados ao longo da extremidade superior. O polegar é um cilindro menor ligado em um ângulo de cerca de 45° ao canto inferior. “Dependendo da personagem, deve-se criar mãos compridas e esbeltas ou curtas e atarracadas. Quaisquer que sejam as proporções, as formas básicas são essencialmente as mesmas”. (MAESTRI, 1996). A Figura 4.8 ilustra a palma da mão e os dedos cilíndricos.

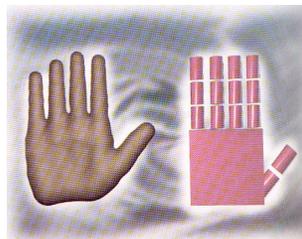


Figura 4.8 – Palma da mão e os dedos cilíndricos. (Fonte: Maestri (1996))

De acordo com Thalmann (1999), pode-se animar as mãos de diversas maneiras. Se construirmos as mãos por segmentos, estes podem ser ligados por uma hierarquia e manipulados diretamente. Mãos baseadas em *splines* normalmente são as melhores para se animar com técnicas de deformação conhecidas como *bones*.

Ao construir uma mão, é sempre melhor construí-la com os dedos normalmente estendidos e o mais distanciado possível, ocorrendo o mesmo quando se constrói corpos. Manter os dedos bem distanciados proporciona maior flexibilidade à mão quando se deforma.

Em um ser humano real, os pés são relativamente pequenos em comparação ao corpo. Os pés de uma personagem devem ser quase que exatamente do comprimento de seu antebraço.

4.5.2 - A estrutura da cabeça, tronco, membros superiores e inferiores

De acordo com Maestri (1996) e Beitler (2001), a cabeça e a face compreendem uma estrutura muito complexa, difícil de modelar, e ainda mais complexa para animar. Além disso, há a necessidade de animar facilmente as faces digitais. A face humana pode expressar uma grande variedade de emoções através de alterações sutis de forma. As cabeças digitais precisam não apenas ter uma boa aparência, mas também precisam ser maleáveis para alterar facilmente a forma. Antes de construir cabeças realistas e faces digitais, é preciso conhecer a anatomia subjacente da cabeça humana e da face.

A face é a parte mais importante do problema porque é onde a maioria dos movimentos acontecem. A cabeça age tipicamente como um apoio sólido onde a face vive. A cabeça é feita basicamente de dois grandes conjuntos de ossos: o crânio e a mandíbula. A Figura 4.9 ilustra os dois conjuntos de ossos: crânio e mandíbula.

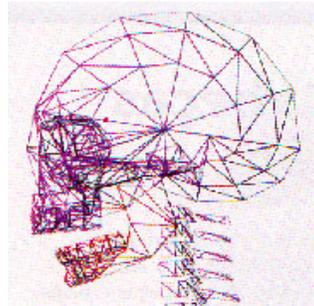


Figura 4.9 – A cabeça consiste de duas massas: crânio e mandíbula. (Fonte: Maestri (1996))

Ao ser decidido o peso da personagem, é preciso usar o tamanho da cabeça como guia. Um ser humano mediano tem a altura de sete a oito cabeças. Se a personagem é mais alta, pode parecer mais flexível e graciosa.

O tronco é o suporte do sistema para a parte superior do corpo. Todo o peso da parte superior do corpo é transmitido através da espinha até os quadris. Entretanto as vértebras juntas tornam possível à parte superior do corpo torcer-se bem como curvar-se no nível dos quadris. A Figura 4.10 ilustra uma personagem realista que tem a altura entre sete e oito cabeças (THALMANN, 1999).

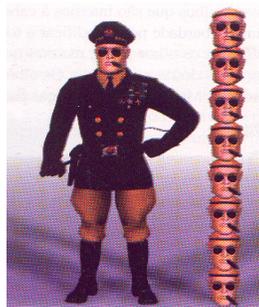


Figura 4.10 – Personagem que possui altura normal para um ser humano mediano. (Fonte: Maestri (1996))

Os braços são divididos em duas partes: úmero e ulna. O úmero é a parte superior. Está ligada ao antebraço no cotovelo, uma junta articulada. O antebraço

consiste de dois ossos, o *rádio* e a ulna. Estes ossos torcem-se um sobre o outro para girar a mão através do pulso. Proporcionalmente, os braços se penduram de forma que os pulsos se alinham com os quadris.

Ainda com Thalmann (1999), como os braços, as pernas são divididas em duas partes: o fêmur, que também é conhecido como o “osso da coxa” e tibia. O fêmur está ligado à parte inferior da perna através de uma junta articulada, o joelho. A parte inferior da perna tem na verdade dois ossos, a tibia e a fíbula. Muito parecido com o *rádio* e a ulna do antebraço, estes dois ossos torcem-se um sobre o outro para girar o pé. Proporcionalmente, as pernas têm quase a metade da altura de todo o corpo.

4.6 - Etapas do desenvolvimento do feto

Para a construção dinâmica de estruturas fetais a partir de formas tridimensionais, que consiste no foco do presente trabalho, é necessário conhecer os aspectos do feto durante a gestação. Nessa seção é apresentado o desenvolvimento do feto humano desde o primeiro mês até o nono mês de gestação, segundo Bedaque (1997).

As características principais dos primeiros cinco meses do desenvolvimento do feto estão resumidas porque estão fora do escopo do projeto. Os aspectos a partir do sexto mês de gestação são apresentados com mais detalhes.

No primeiro mês de gestação forma-se a vesícula vitelínica. O embrião tem a forma de um “C”. Apresenta uma cauda que perderá no decorrer dos dias. Oito semanas

após a fecundação, o embrião transforma-se em feto. Aparecem os brotinhos das extremidades, que crescerão para formar os braços e pernas. Começam a se formar: coração, baço, pulmão. No 25º dia o coração começa a bater e inicia-se a formação do sistema digestivo e da aorta. Formam-se vesículas cerebrais, tubo neural e medula espinhal. O embrião mede 1 (um) centímetro (cm) de comprimento e pesa 28 gramas, como ilustra a Figura 4.11(a).

No segundo mês de gestação formam-se todos os sistemas e órgãos principais do corpo e ainda não se desenvolve completamente. Formam-se orelhas e tornozelos e as munhecas. Crescem as pálpebras, mas permanecem fechadas. Formam-se os dedos das mãos e pés. O sistema periférico está completo. Os rins estão na posição habitual. A membrana anal está perfurada. A retina está pigmentada. O sistema auditivo está desenvolvido. O cérebro cresce muito e a cabeça tem 1/3 do tamanho do corpo. Nesta fase o feto mede 2,5 cm de comprimento e ainda pesa 28 gramas. A Figura 4.11(b) ilustra o feto nesta fase.

No terceiro mês de gestação desenvolvem-se as unhas das mãos e dos pés. Forma-se a íris. Inicia-se o desenvolvimento do sexo do feto. As cordas vocais estão formadas. O fígado produz bile e o pâncreas secreta insulina. A boca tem 20 brotinhos que se converterão em dentes de leite. Já se pode ouvir as batidas do coração. Nesta fase o feto mede 10cm de comprimento e pesa um pouco mais de 28 gramas, como mostra a Figura 4.11(c).

No quarto mês de gestação o feto se move batendo os pés, abre e fecha as mãos e movimentando os dedos. Engole e pode ouvir a voz da mãe. Mantém a cabeça ereta, chupa os dedos e pisca os olhos. Começam a formar-se as impressões digitais. O cordão

umbilical continua crescendo e levando alimento suficiente da mãe ao feto. O feto, nesta fase, mede de 15 a 18 cm e pesa 140 gramas, como mostra a Figura 4.11(d).

No quinto mês de gestação o feto começa a estar mais ativo, movendo-se de lado a lado e às vezes dando a volta completa dentro do ventre. Nas meninas, começam a se formar os óvulos no interior dos ovários. As orelhas estão na posição habitual. Formam-se as sobrancelhas e os cabelos. O feto dorme e desperta em intervalos regulares ou por barulhos bruscos. Nesta fase o feto tem um maior desenvolvimento das pernas, medindo de 20 a 30 cm de comprimento e pesando de 300 a 500 gramas, como mostra a Figura 4.11(e).

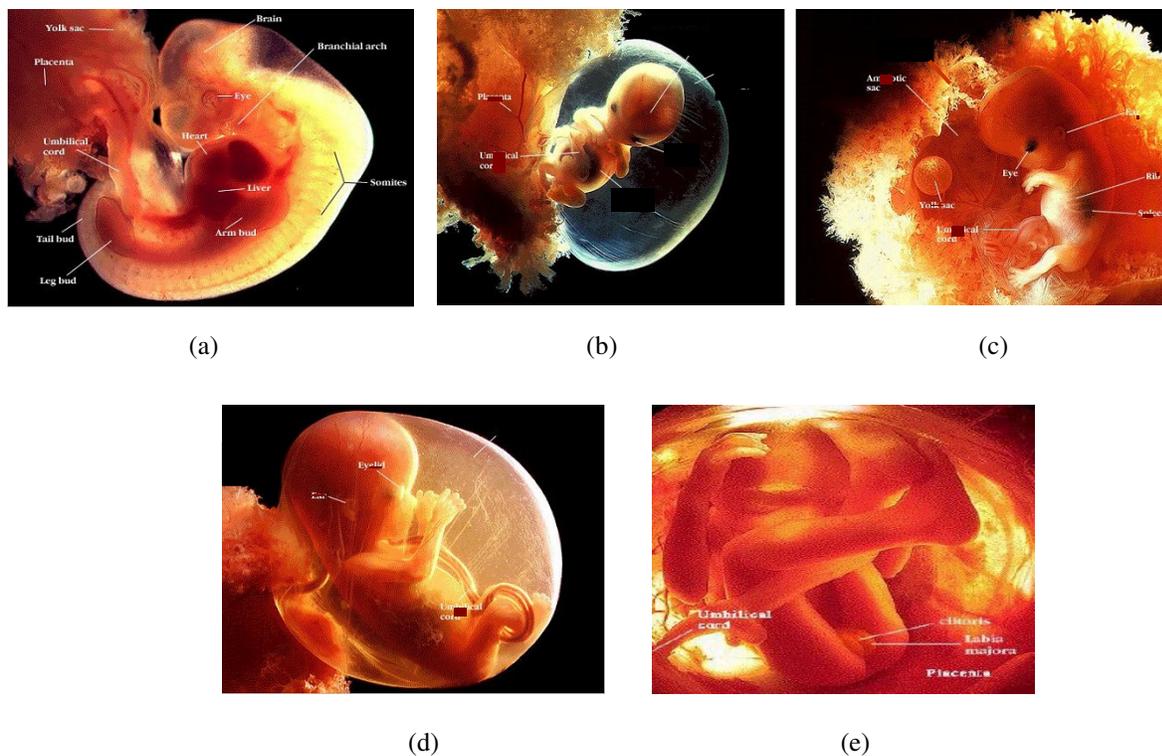


Figura 4.11 – Desenvolvimento fetal; (a) primeiro mês de gestação; (b) segundo mês de gestação; (c) terceiro mês de gestação; (d) quarto mês de gestação; (e) quinto mês de gestação

No sexto mês de gestação o corpo fica mais proporcional. O rosto já está praticamente formado. Os cílios estão em desenvolvimento. As narinas começam a se abrir. Os alvéolos se desenvolvem nos pulmões. O padrão das ondas cerebrais é semelhante ao do nascimento. O cérebro controla a temperatura do corpo. A pele do futuro bebê agora é vermelha e enrugada e está coberta com um pêlo fino e suave. Nesta etapa o feto é geralmente pequeno e seus pulmões ainda não estão prontos para viver fora do útero. As pálpebras começam a despregar e os olhos se abrem. Já se pode ver os contornos dos dedos, das mãos e dos pés. O feto continua em rápido crescimento. Ao final do 6º mês o feto mede de 30 a 35 cm e pesa de 500 a 700 gramas. A Figura 4.12 ilustra um feto com estas características.



Figura 4.12 – Feto em seu 6º mês de gestação. (Fonte: <http://orbita.starmedia.com/~corpohumano>)

No sétimo mês, o feto pode abrir e fechar os olhos, chupar o dedo e chorar. Faz exercícios batendo as pernas e esticando-se. Responde à luz e ao som. Aumenta o número de conexões entre as células nervosas. Diferencia o escuro do claro e ouve bem o mundo exterior. Dorme muito e, se acordado, fica atento ao barulho externo. Se nascesse agora o feto teria uma boa probabilidade de sobreviver, pois começa a

desenvolver o seu próprio sistema imunológico. Nesta fase, o feto mede mais ou menos 40 cm de comprimento e pesa mais ou menos 1.5 quilos. A Figura 4.13 ilustra as características desse estágio.



Figura 4.13 – Feto em seu 7º mês de gestação. (Fonte: <http://orbita.starmedia.com/~corpohumano>)

No oitavo mês, o feto já está bem grande para mover-se dentro do ventre, porém ainda pode bater os pés e girar dentro do útero. Pode-se notar através da parede do abdômen os contornos dos cotovelos e calcanhares. Os cotovelos e joelhos formam covinhas. A partir deste mês o feto é considerado de termo (não é mais prematuro, em caso de nascimento). Os ossos da cabeça são suaves e flexíveis para que seja mais fácil o bebê passar pela vagina durante o nascimento. Os pulmões podem estar ainda imaturos. Se nascesse antes das 37 semanas o feto seria prematuro, porém teria excelentes probabilidades de sobreviver. Nesta fase, o feto mede em torno dos 45 cm e pesa de 2 a 2,5 quilos. A Figura 4.14 ilustra um feto nesta fase de desenvolvimento.

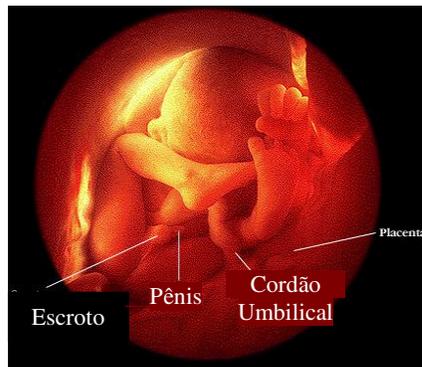


Figura 4.14 – Feto em seu 8º mês de gestação. (Fonte: <http://orbita.starmedia.com/~corpohumano>)

Entre as 38 e 40 semanas chega o fim da gestação. Os pulmões do bebê já estão formados e prontos para funcionar por conta própria. As unhas cobrem os dedos. O mecônio, que são as primeiras fezes, está presente no intestino do feto. Durante este mês o bebê aumenta 200 a 250 gramas por semana. O bebê, geralmente, desce, colocando a cabeça para baixo e descansando na parte debaixo do abdômen da mãe. Ao final do 9º mês o bebê pesa de 3 a 4 quilos e mede por volta de 50 cm de comprimento, como ilustra a Figura 4.15.



Figura 4.15 – Bebê recém-nascido. (Fonte: <http://orbita.starmedia.com/~corpohumano>)

CAPÍTULO 5 – SISTEMA DE REALIDADE VIRTUAL PARA GERAÇÃO DINÂMICA DE ESTRUTURAS DE FETO

Neste capítulo será apresentado o sistema de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto, visando contribuir para a minimização de algumas das limitações apresentadas nos exames de US, como ruídos nas imagens e dificuldade de visualização devido ao posicionamento fetal.

5.1 – Metodologia utilizada

Muitos projetos na área de Realidade Virtual com a Medicina estão em desenvolvimento e alguns já estão sendo aplicados em situações reais. Bega et al. (2001) lembram que a Ultra-sonografia é um dos métodos, dentre os exames de diagnóstico por imagem, mais utilizados no rastreamento de doenças. Porém existem algumas limitações no Ultra-som tridimensional, como já foram apresentadas (Steiner et al, 2002), que fazem com que este tipo de exame não substitua o Ultra-som bidimensional, sendo assim, um auxiliar a este último.

O sistema aqui apresentado permite a visualização do feto a partir do sexto mês de gestação podendo este ser representado tridimensionalmente, a partir de medidas fornecidas pelo usuário. Essas medidas são obtidas com a segmentação de imagens bidimensionais de Ultra-som. No entanto, a segmentação de tais imagens não faz parte do escopo deste projeto. O sistema oferece ao usuário uma ferramenta que facilita a

visualização de malformações fetais com mais clareza e segurança, auxiliando no encaminhamento da gestante a um exame mais detalhado.

O projeto considera fetos a partir do sexto mês de gestação porque é nesta fase que eles estão inteiramente formados e as limitações do US 3D tornam-se agravantes devido a seus tamanhos e à redução do líquido amniótico.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados estudos em relação aos diversos aspectos a fim de que a representação fosse a mais próxima possível da realidade. Assim, as seguintes etapas foram cumpridas:

1. Estudo das estruturas fetais - nesta fase foi estudado o formato do feto a partir do sexto mês de gestação, quando o feto está com sua estrutura bem definida, coberta com pele e com todos os seus órgãos funcionando.
2. Definição da representação tridimensional – nesta etapa foram definidas formas tridimensionais para representar cada estrutura identificada no feto, sendo estudados o seu crescimento e outros detalhes importantes para a modelagem.
3. Estudos das posições fetais – nesta fase constitui no levantamento das posições do feto no ventre materno, isto é, como o feto consegue se mover dentro do útero e quais as posições possíveis do feto durante o seu desenvolvimento até o final da gestação.
4. Estudo das texturas – nesta fase consistiu em definir as texturas para representar cada estrutura. A partir do sexto mês de gestação o feto já está coberto com pele, mas como está envolvido com a placenta, ele não tem

uma textura definida. Foi, então, estabelecida a textura que mais se assemelhou à cor da pele do feto.

5. Verificação da sobreposição – nesta fase foram verificadas como as estruturas tridimensionais devem ser sobrepostas para representar o mais fielmente possível as partes que formam o corpo do feto.
6. Visualização – nesta fase, como o projeto propôs resolver algumas das limitações do Ultra-som tridimensional, ruídos na imagem foram uma das principais causas para o desenvolvimento do sistema. Para isso, foram estudados os fatores que prejudicam a visualização do feto e que deveriam ser eliminado na imagem.
7. Interação com o usuário – nesta fase foram definidos os movimentos possíveis do feto a partir da interação com o usuário, estabelecendo-se como o usuário poderia interagir com o feto.
8. Elaboração das rotinas computacionais – nesta fase foram elaboradas os métodos para construir dinamicamente os objetos estudados nas fases anteriores. Essas funções são chamadas por programas e devem modelar dinamicamente o objeto solicitado.
9. Testes do sistema – esta fase foi dedicada a testes exaustivos de rotinas construídas a fim de verificar se o conjunto de rotinas foi capaz de reproduzir a imagem tridimensional desejada de um feto.

5.2 – Funcionamento do sistema

A Figura 5.1 apresenta o esquema do funcionamento do sistema.

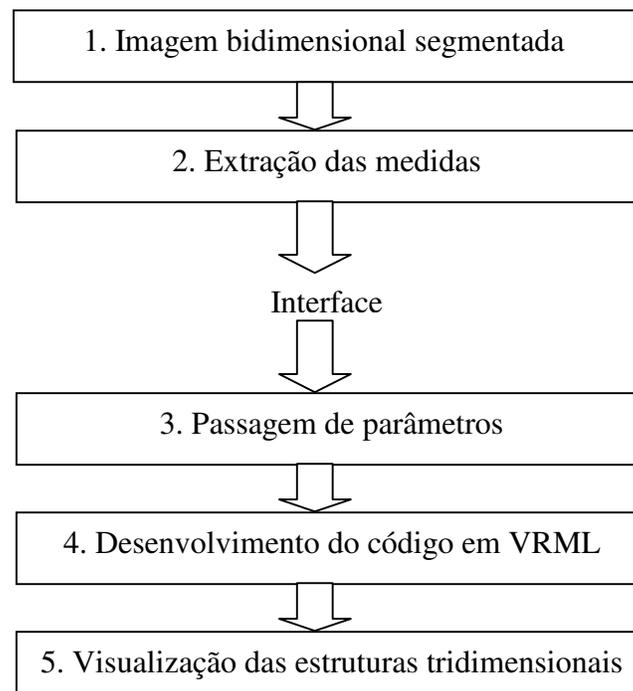


Figura 5.1 – Diagrama esquemático do funcionamento do sistema

No esquema apresentado no diagrama 5.1, as etapas 1 e 2 fazem parte de um trabalho (Luz et al., 2004) que visa a segmentação de imagens bidimensionais, utilizando técnicas de processamento de imagens. Uma vez realizada a segmentação, é possível extrair medidas que constituem os parâmetros do sistema implementado.

A etapa 3 (Passagem de parâmetros) recebe parâmetros fornecidos pelo usuário e faz o tratamento desses valores para gerar dinamicamente imagens tridimensionais a fim de representar fetos a partir do sexto mês de gestação.

A geração do código em VRML consiste em gerar arquivos ASCII contendo comandos VRML que, quando executados em *plug-in* adequados, permitem obter as estruturas tridimensionais que formam o corpo do feto (etapa 4).

Na etapa 5 permite a visualização e manipulação das estruturas geradas que representam o mais fielmente possível as diversas partes da imagem fetal.

5.3 – Componentes físicos do sistema

Para a escolha dos dispositivos físicos do sistema levou-se em conta que o sistema poderia ser utilizado por médicos e outros interessados na área, devendo apresentar custo que permitisse a sua implantação sem investimentos adicionais. Assim, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema baseado em um computador do tipo PC uma vez que, com as opções de placas aceleradoras gráficas e processadores encontrados atualmente no mercado, já é possível obter um desempenho satisfatório de aplicações gráficas nesse tipo de equipamento.

Devido aos softwares instalados para o desenvolvimento da ferramenta como, Sistema Operacional, editor de textos, *plug-in* para gerar a representação 3D dos membros fetais e linguagem Java para o desenvolvimento do sistema, o microcomputador foi equipado com 126 Mb de memória RAM.

Como o sistema foi desenvolvido para que leigos na área de Informática pudessem operá-lo, os dispositivos físicos de interação foram compostos de mouse e

teclado, responsáveis pela manipulação das estruturas, e monitores convencionais, responsáveis pela visualização.

5.4 – Ambiente de programação

O ambiente de programação e execução constituiu-se do Sistema Operacional e linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento e execução final do sistema. A escolha desse ambiente baseou-se nos dispositivos físicos convencionais, no tipo de usuário final, desempenho e facilidade de implementação. Além disso, existiu a preocupação de utilizar-se uma plataforma cujo custo viabilizasse a implantação do sistema.

Para isso foi utilizada a linguagem Java (Deitel, 2003) para o desenvolvimento das interfaces e a geração de um programa fonte em VRML (Ames, 1997), responsável por representar as estruturas 3D.

A linguagem VRML foi escolhida devido à simplicidade do código necessário para construir a cena desejada. Apesar do seu desempenho poder apresentar baixa performance para ambientes mais complexos, as estruturas aqui construídas constituem ambientes simples, apresentando desempenho plenamente satisfatório.

Para visualizar o feto, foi utilizado o *plug-in* Cortona (Parallel Graphics, 2000), que oferece comandos para obter rotação, translação e escala, manipulados pelo mouse ou teclado. Este *software* permite a visualização de qualquer estrutura desenvolvida em VRML.

5.5 – Modelagem do feto

Para modelar o feto, foram utilizadas como modelo, imagens de fetos a partir do sexto mês de gestação. Essas imagens foram adquiridas nos exames de ultrasonografia tanto bidimensionais como tridimensionais. Foram compostas classes para cada parte do corpo fetal, conforme mostra o Diagrama 5.2. Mais adiante serão detalhadas as classes que compõem o corpo do feto e seus membros (Tabela 5.1).

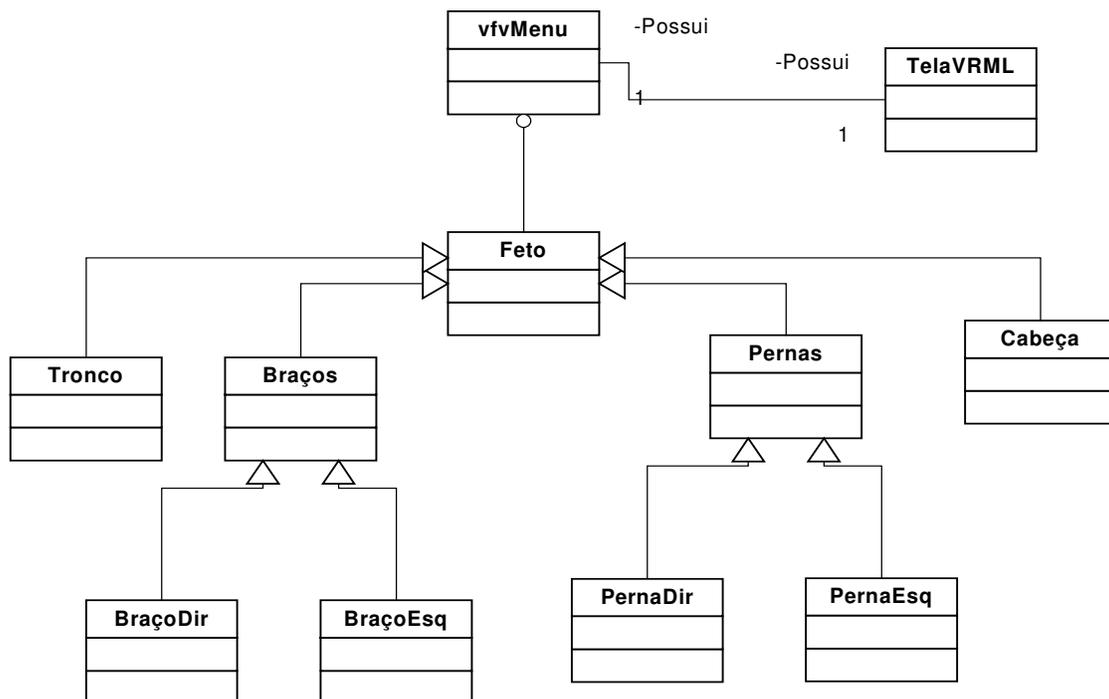


Figura 5.2 – Diagrama das classes para a composição do corpo do feto e seus membros

A modelagem exigiu um estudo detalhado do corpo fetal, observando-se os detalhes do rosto, das mãos, dos pés, locais de dobras no corpo fetal, quais as texturas que deveriam ser aplicadas e o desenvolvimento do feto durante a gestação,

considerando o tamanho relativo a cada semana a partir do sexto mês de gravidez.

A confecção do código do modelo de um feto e seus membros em VRML ficaria muito difícil porque esta linguagem desenvolve muito bem objetos usando formas primitivas como esferas, cilindros e cubos. Porém, para o refinamento do feto inteiro e dos membros, era preciso usar algo que permitisse representação de deformações em objetos a fim de tornar as estruturas o mais semelhantes possível às estruturas reais. Por exemplo, a boca, a parte inferior do pé e outros detalhes do corpo exigem deformações para representações mais reais.

Durante as pesquisas, foi encontrada na literatura (Crispen, 2000), a indicação do uso de ferramentas que facilitam as deformações, como Poser (Shanks, 1999) ou 3DStudio (Blab, 2002) que geram códigos VRML. Uma vez gerado o código VRML é possível adicionar objetos, como é o caso das juntas no corpo fetal. Por exemplo, a modelagem de um braço e o antebraço com as devidas deformações, pode ser feita em um *software* gráfico, convertida para VRML. Esse código pode ser editado, adicionando uma junta entre esses membros que seria o cotovelo. Além disso, é possível programar uma hierarquia entre eles, informando que o braço é pai do cotovelo, que por sua vez é pai do antebraço. Assim, foi usado o software 3DStudio que supriu as necessidades de modelagem das estruturas básicas tornando-a mais realística. Com o uso das técnicas dessa ferramenta, foi possível modelar no rosto do feto detalhes como a boca, o nariz, as orelhas e os olhos. Foi possível modelar, também, os membros superiores e inferiores, o tronco, as mãos e os pés, respeitando todas as curvas que compreendem esses membros.

Depois desse refinamento e da conversão do código para VRML, foi adicionada

a junta do pescoço, do ombro, dos braços, das pernas e do quadril, tornando possível a movimentação dos membros e do feto inteiro, respeitando sempre a hierarquia dos membros. A Figura 5.3 (a) ilustra a mão direita desenvolvida com as formas primitivas do software VRML e a Figura 5.3 (b) ilustra a imagem da mão modelada e refinada com as técnicas do software 3DStudio.

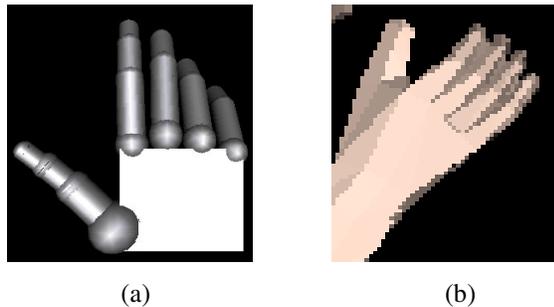


Figura 5.3 – Modelagem da mão direita. (a) Mão desenvolvida com os códigos VRML; (b) Mão refinada utilizando técnicas do software 3DStudio e convertida para VRML.

A Figura 5.4 (a) apresenta a imagem de um feto inteiro, com 38 semanas de gestação (9 meses), utilizando formas primitivas respeitando todos os parâmetros de tamanho e posicionamento extraídos da imagem bidimensional e a Figura 5.4 (b) ilustra a imagem de um feto inteiro, com o mesmo tempo de gestação, utilizando técnicas de refinamento do software 3DStudio com todas as juntas adicionadas, respeitando todos os parâmetros de tamanho e posicionamento extraídos da imagem fetal bidimensional.

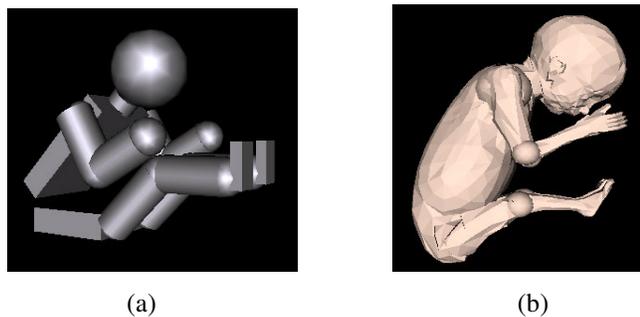


Figura 5.4 – Imagem de um feto inteiro com 38 semanas de gestação. (a) Imagem de um feto inteiro modelado antes do refinamento; (b) Imagem de um feto inteiro modelado após o refinamento.

5.6 – Parâmetros para modelagem tridimensional

O exame de US 2D fornece algumas medidas que podem indicar, entre outras características, o desenvolvimento do feto e a presença de anomalias. A fim de que o sistema ficasse compatível com os procedimentos realizados nesse exame o feto foi dividido em membros e cada membro foi estudado separadamente em detalhes. Inicialmente, foram estudadas a cabeça e o rosto do feto e quais os detalhes que seriam necessários para modelá-los fielmente. O rosto foi uma das partes mais difíceis para se modelar devido aos detalhes dos olhos, da boca, do nariz e das orelhas. Neste caso foi preciso usar técnicas de depressão para realizar deformações como os olhos e técnicas de relevo para a deformação do nariz. A Figura 5.5 (a) mostra a imagem de um rosto de feto e a Figura 5.5 (b) ilustra o rosto do feto modelado e refinado.

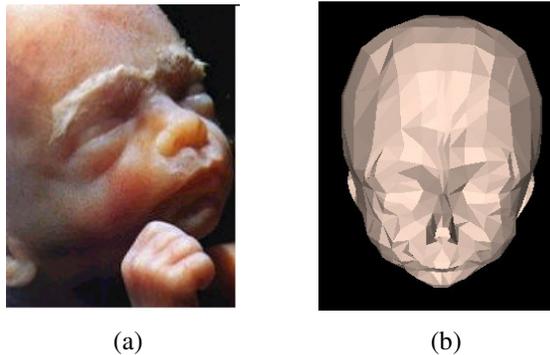


Figura 5.5 – Imagem do rosto do feto. (a) imagem real do rosto de um feto; (b) imagem do rosto do feto modelada e refinada.

Para modelar os braços e antebraços, foi preciso medir a circunferência desses membros. Para isso o braço foi dividido em três partes, pois a parte superior inicia-se um pouco menor que a parte do meio, a parte mediana do braço tem a circunferência maior e

diminui gradativamente até o cotovelo.

O mesmo ocorreu com o antebraço, considerando-se, porém, que a sua parte superior inicia-se maior e diminui gradativamente até o punho, como mostra a Figura 5.6 (a). A Figura 5.6 (b) ilustra o braço inteiro modelado e refinado.



Figura 5.6 – Imagem do braço inteiro do feto. (a) imagem real do braço inteiro de um feto; (b) imagem do braço inteiro do feto modelada e refinada.

Para modelar as mãos foi preciso estudar os detalhes da palma, dos dedos e suas juntas. Foi modelado apenas um dedo, sendo este dividido em três partes: a base, que é maior e outras duas que diminui gradativamente até a sua ponta. Usando o mesmo dedo foi possível modelar os demais diminuindo-se o comprimento dos mesmos. O modelo do dedo polegar foi dividido em duas partes, tendo a base um diâmetro um pouco maior que o restante do mesmo. A Figura 5.7 (a) mostra a imagem real da mão de um feto e a Figura 5.7 (b) ilustra a mão modelada e refinada.



Figura 5.7 – Imagem da mão direita do feto. (a) imagem real da mão direita de um feto. (b) imagem da mão de um feto modelada e refinada.

Para modelar o tronco foi estudado o seu comprimento total, considerando desde o ombro até as nádegas. A largura de ombro a ombro e a circunferência do tronco foi dividida em três partes: a parte superior que compõe a região do peito, a parte mediana que compõe a região do umbigo e a parte inferior que compõe a região das nádegas. A Figura 5.8 (a) ilustra a imagem real do tronco de um feto e a Figura 5.8 (b) ilustra o tronco modelado e refinado.

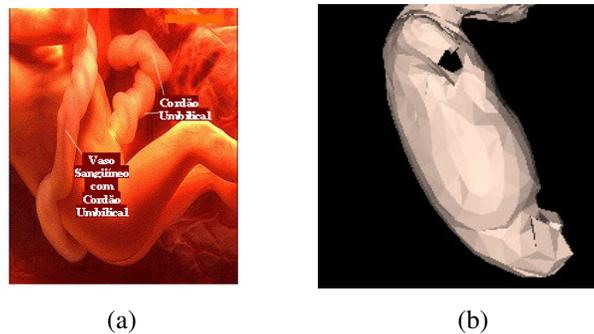


Figura 5.8 – Imagem do tronco do feto. (a) imagem real do tronco de um feto. (b) imagem do tronco de um feto modelada e refinada.

Para modelar as pernas, compostas de fêmur e tíbia, foi preciso medir a circunferência das partes, como foi feito com os braços. Para isso o fêmur, que é a parte superior da perna, foi dividido em três partes: a primeira um pouco maior, por causa dos glúteos, a parte mediana (segunda parte) menor que a primeira, mas com uma circunferência maior que a terceira parte que é o fim do fêmur. O mesmo ocorreu com a tíbia, que é a parte inferior da perna. Esta foi dividida em três partes sendo que a parte superior é menor que a parte mediana. A parte mediana é maior e diminui gradativamente até o calcanhar. A Figura 5.9 (a) mostra a imagem real das pernas de um feto e a Figura 5.9 (b) mostra a imagem das pernas modeladas e refinadas.

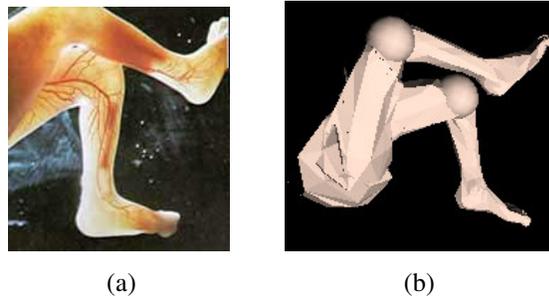


Figura 5.9 - Imagem das pernas de um feto. (a) imagem real das pernas direita e esquerda de um feto. (b) imagem das pernas de um feto modelada e refinada.

Para modelar os pés, foi preciso obter a foto de um pé e desenhá-lo idêntico, sem se preocupar com as juntas dos dedos e do calcanhar, pois este, segundo as pesquisas realizadas sobre os movimentos do feto, não se move com tanta frequência, principalmente após o sexto mês de gestação, pois o corpo do feto cresce rapidamente, ficando o ventre materno muito pequeno para ele movimentar-se.

Nesta parte também foi modelado apenas um dedo e os demais foram cópias deste, diminuindo o seu tamanho. A Figura 5.10 (a) ilustra a imagem real dos pés de um feto e a Figura 5.10 (b) ilustra o pé modelado e refinado.

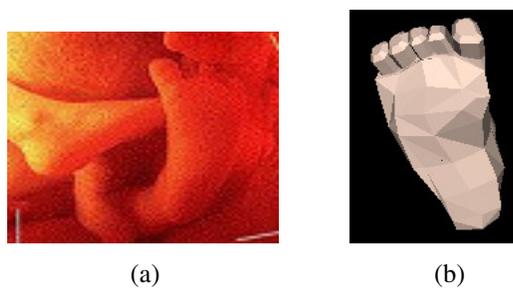


Figura 5.10 – Imagem dos pés de um feto. (a) imagem real do pé de um feto. (b) imagem do pé modelado e refinado.

Depois de utilizar todas essas técnicas para modelar um membro de um feto, foi possível juntá-las para representar o corpo do feto inteiro a partir do sexto mês de

gestação, considerando-se algumas particularidades de cada fase. Uma delas é a relação entre o tamanho da cabeça e o restante do corpo, pois o feto, desde o primeiro até o sexto mês de gestação, tem a cabeça muito maior que a circunferência abdominal. A Figura 5.11 (a) ilustra o corpo real de um feto e a Figura 5.11 (b) ilustra o feto modelado e refinado.

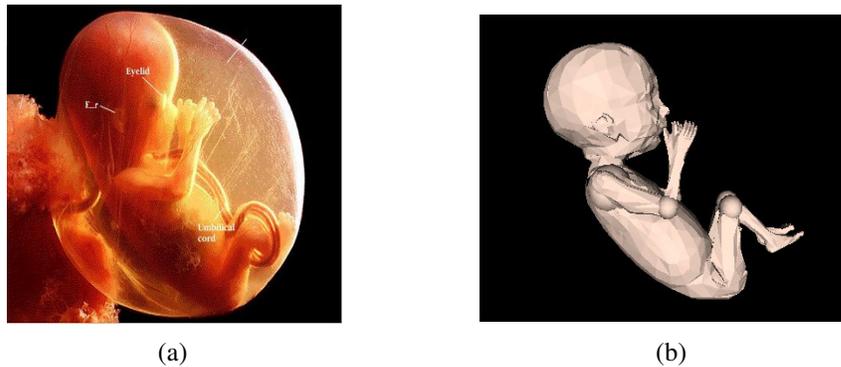


Figura 5.11 – Imagem do corpo inteiro do feto. (a) Imagem real do corpo do feto; (b) Imagem do corpo do feto refinada e modelada.

A partir do sétimo mês de gestação, a cabeça cresce lentamente e o restante do corpo cresce rapidamente, tornando a circunferência abdominal maior que a circunferência craniana. Para representar este desenvolvimento foi modelado apenas um corpo inteiro normal do feto no sexto mês de gestação. Conforme as semanas vão se passando, o usuário passa o parâmetro da medida da cabeça do feto e com essa modelagem a representação tridimensional da cabeça tem seu tamanho aumentado ou diminuído.

A Tabela 5.1 ilustra a descrição das classes que representam tridimensionalmente as estruturas fetais.

Tabela 5.1 – Tabela de descrição das classes

NOME DA CLASSE	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS
BracoDir	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D do braço direito. Métodos: Resbdir – gera o VRML da estrutura do braço direito; Resbdir_Certo - gera o VRML da estrutura do braço direito normal; Resbdir_Gancho - gera o VRML da estrutura do braço direito em gancho.	Comprimento do úmero direito Comprimento da ulna direita Posição do úmero direito Posição da ulna direita
BracoEsq	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D do braço esquerdo. Métodos: Resbesq – gera o VRML da estrutura do braço esquerdo; Resbesq_Certo - gera o VRML da estrutura do braço esquerdo normal; Resbesq_Gancho - gera o VRML da estrutura do braço esquerdo em gancho.	Comprimento do úmero esquerdo Comprimento da ulna esquerdo Posição do úmero esquerdo Posição da ulna esquerda
Cabeça	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D da cabeça. Métodos: Rcabeça – gera o VRML da estrutura da cabeça.	Circunferência craniana
ExeVRML	Gerador da estrutura do feto permitindo a visualização 3D dessa estrutura em um <i>plug-in</i> VRML.	
PernaDir	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D da perna direita. Métodos: Rperdir – gera o VRML da estrutura da perna direita; Rperdir_Certo - gera o VRML da estrutura da perna direita normal; Rperdir_Gancho - gera o VRML da estrutura da perna direita em gancho; Rperdir_X – gera o VRML da estrutura da perna direita em X.	Comprimento do fêmur direito Comprimento da tíbia direita Posição do fêmur direito Posição da tíbia direita
PernaEsq	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D da perna esquerda. Métodos: Rperesq – gera o VRML da estrutura da perna esquerda; Rperesq_Certo - gera o VRML da estrutura da perna esquerda normal; Rperesq_Gancho - gera o VRML da estrutura da perna esquerda em gancho; Rperesq_X – gera o VRML da estrutura da perna esquerda em X.	Comprimento do fêmur esquerdo Comprimento da tíbia esquerda Posição do fêmur esquerdo Posição da tíbia esquerda
Tronco	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D do tronco. Métodos: Rtronco – gera o VRML da estrutura do tronco; Rtronco_Certo – gera o VRML da estrutura do tronco normal.	Posição do tronco Comprimento cabeça-nádega Diâmetro biparietal Estatura.
Medidas	Esta classe compõe as medidas dos membros e do corpo inteiro do feto.	
Feto	Esta classe compõe as variáveis para a representação 3D do corpo inteiro do feto. Métodos: FetoInteiro_Normal_6meses; FetoInteiro_Normal_7meses; FetoInteiro_Normal_8meses; FetoInteiro_Normal_9meses; FetoInteiro_6meses_BG; FetoInteiro_6meses_BGPX; FetoInteiro_6meses_PG, FetoInteiro_6meses_BPG; FetoInteiro_7meses_BG; FetoInteiro_7meses_BGPX; FetoInteiro_7meses_PG, FetoInteiro_7meses_BPG; FetoInteiro_8meses_BG; FetoInteiro_8meses_BGPX; FetoInteiro_8meses_PG, FetoInteiro_8meses_BPG; FetoInteiro_9meses_BG; FetoInteiro_9meses_BGPX; FetoInteiro_9meses_PG, FetoInteiro_9meses_BPG	Comprimento do úmero direito; Comprimento da ulna direita; Posição do úmero direito; Posição da ulna direita; Comprimento do úmero esquerdo; Comprimento da ulna esquerdo; Posição do úmero esquerdo; Posição da ulna esquerda; Circunferência craniana Comprimento do fêmur direito; Comprimento da tíbia direita; Posição do fêmur direito; Posição da tíbia direita; Comprimento do fêmur esquerdo; Comprimento da tíbia esquerda; Posição do fêmur esquerdo; Posição da tíbia esquerda; Posição do tronco; Comprimento cabeça-nádega; Diâmetro biparietal; Estatura.
TelaVRML	Esta é a classe que permite a visualização da tela (JTextArea) que compõe o código em VRML com todos os parâmetros fornecidos.	
vfVMenu	Tela principal. Nesta classe estão definidos os menus e submenus do sistema.	

5.7 – Funcionamento do programa

Após o estudo das características das estruturas fetais, foi definida a interface do sistema, de forma que proporcionassem a geração dinâmica das estruturas fetais. O objetivo foi construir métodos que, a partir de parâmetros fornecidos pelo usuário, gerassem dinamicamente imagens tridimensionais para representar fetos a partir dos seis meses de gestação.

A passagem de parâmetros é feita por chamadas a métodos, que têm o objetivo de compor objetos sintéticos em determinada posição e considerando tamanhos específicos, a fim de representar a estrutura solicitada. Por exemplo: o desenho do braço direito é feito através de uma função chamada `BracoDir`, cujos parâmetros são a semana de gestação, o comprimento e o ângulo de inclinação desta parte do corpo do feto. Os parâmetros solicitados variam de acordo com a estrutura do corpo fetal a ser modelada. A Figura 5.12 ilustra o diagrama esquemático da construção dinâmica de estruturas fetais.

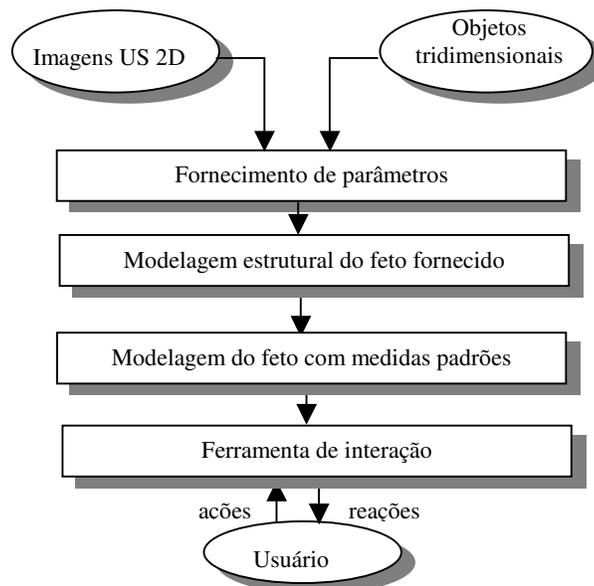


Figura 5.12 – Diagrama esquemático da construção dinâmica de estruturas fetais

Conforme ilustra o diagrama, o sistema representa tridimensionalmente as estruturas e o corpo fetal a partir das imagens bidimensionais de Ultra-som. A Figura 5.13 exemplifica como o sistema funciona. O sistema trabalha com apenas quatro janelas. Na primeira janela são fornecidos os parâmetros da parte do corpo a ser representada, a segunda janela é a geração do código em VRML para formar a parte do corpo a partir dos parâmetros fornecidos, na terceira janela é visualizada a estrutura tridimensional examinada e a quarta é a visualização do mesmo membro, porém este é fornecido pelo sistema com medidas consideradas normais (ANEXOS A a D) para que haja uma comparação entre eles.

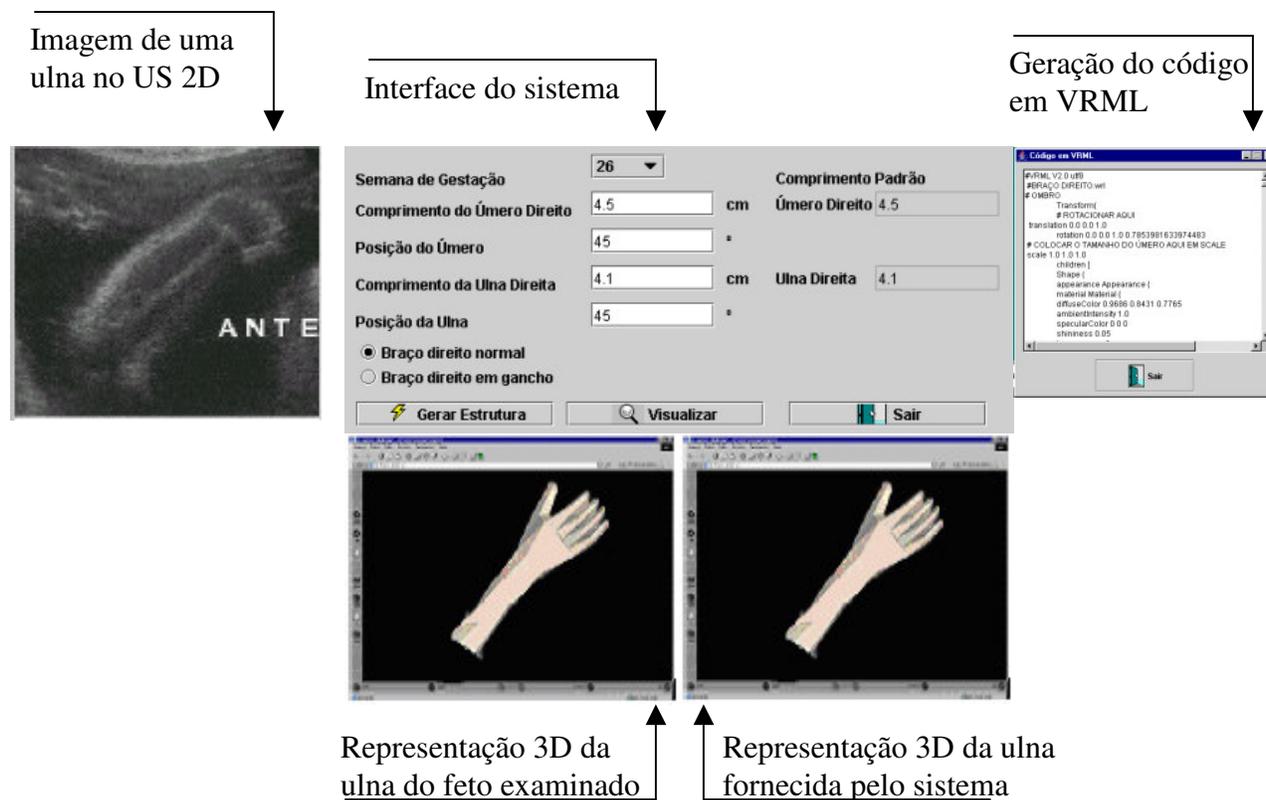


Figura 5.13 – Execução do sistema

Ao ser visualizada uma parte do corpo fetal em um exame de Ultra-sonografia bidimensional, são extraídas as suas medidas e ângulos de inclinação, sendo esses parâmetros passados para o sistema. Dessa forma é possível a geração do código em VRML da parte examinada e sua visualização tridimensional.

O sistema foi desenvolvido para que leigos na área de Informática e médicos de outras especialidades pudessem utilizá-lo sem a necessidade de conhecimentos mais específicos da área ou a aquisição de equipamentos especiais. Por isso a tela apresenta apenas dois menus: Sair e Formação do Corpo.

O menu Sair encerra a execução da ferramenta.

O menu Formação do Corpo é composto de sete submenus que são: Cabeça, Braço Direito, Braço Esquerdo, Estatura, Perna Direita, Perna Esquerda, Gerar Feto Inteiro, como mostra a Figura 5.14.

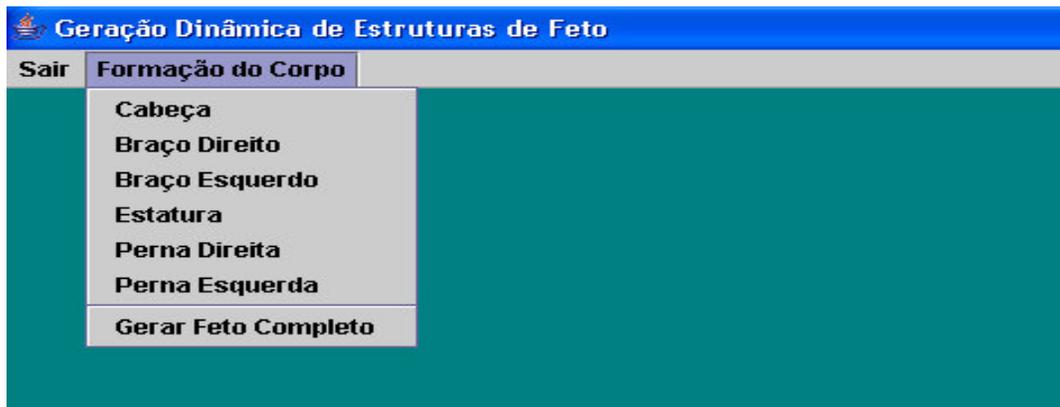


Figura 5.14 – Tela principal com o menu Formação do Corpo aberto.

A primeira opção do menu Formação do Corpo é a formação da cabeça, que é composta da tela apresentada na Figura 5.15.

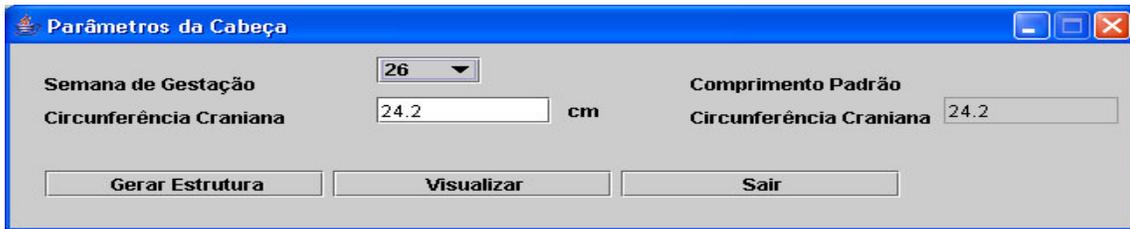


Figura 5.15 – Tela da formação da cabeça com parâmetros passados e a visualização do código fonte em VRML.

Como pode ser observado na tela apresentada na Figura 5.15, é exibido automaticamente o valor médio da cabeça da semana escolhida pelo usuário. Assim, ao entrar com o valor da circunferência craniana do feto examinado, o usuário poderá constatar a eventual presença de uma anomalia, comparando a medida com esta medida padrão. A medida padrão consiste na média obtida do resumo sumário das tabelas obstétricas de uso diário fornecida (ANEXOS A a D).

A partir desses parâmetros o sistema gera um arquivo com o código necessário para representação da estrutura em VRML (Figura 5.16), porém esse código não é apresentado na tela.

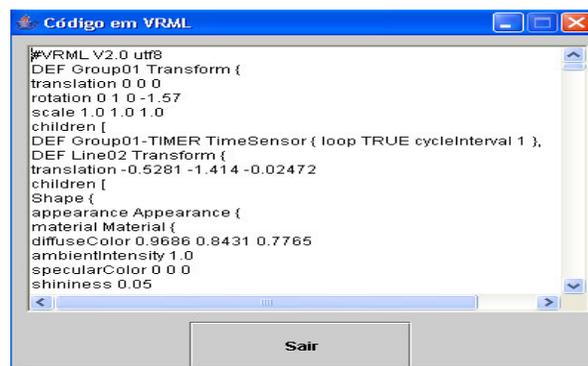
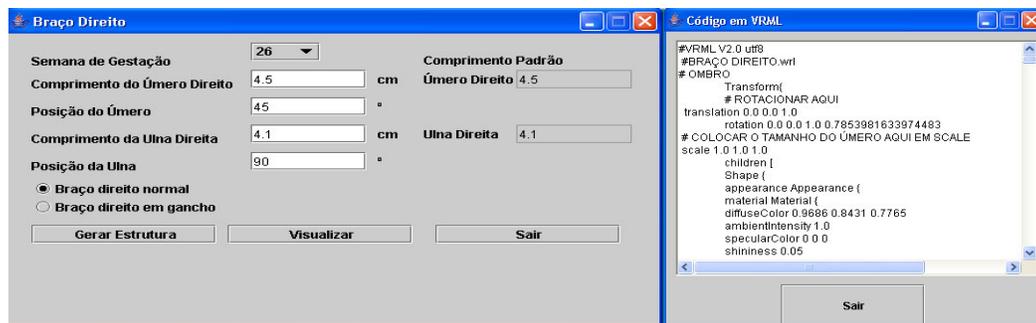


Figura 5.16 – Caixa de diálogo ilustrando o código da formação da cabeça em VRML.

O programa fonte é gravado com a extensão .wrl podendo ser gravado separadamente para cada estrutura ou em único bloco, juntando os códigos que geram

anencefalia (ausência de cérebro), microcefalia (cabeça pequena) e hidrocefalia (presença de líquido na cabeça), entre outros. Com esta observação, o médico poderá encaminhar a gestante para um exame mais detalhado.

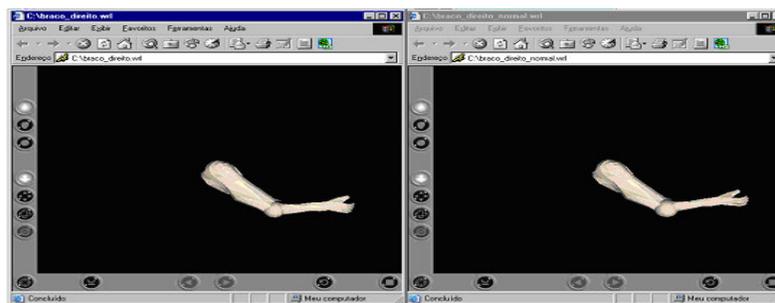
O mesmo ocorre com os outros membros do feto, como por exemplo, os braços. O usuário fornece os parâmetros para que o sistema gere a estrutura tridimensional de um braço. O sistema gera o código em VRML tanto para o feto examinado quanto para o considerado normal, sendo este último fornecido pelo sistema. Depois da geração dos códigos, estes serão gravados e posteriormente visualizados. A Figura 5.18 (a) ilustra a tela onde são fornecidos os parâmetros e o código gerado em VRML (Figura 5.18 (b)). A Figura 5.19 (a) ilustra a visualização do braço direito do feto examinado e a Figura 5.19 (b) ilustra o braço do feto considerado normal.



(a)

(b)

Figura 5.18 - Tela para onde são passados os parâmetros e gerado o código em VRML.



(a)

(b)

Figura 5.19 – Visualização do braço direito. (a) Visualização do braço direito examinado; (b) Visualização do braço direito considerado normal.

Como pode ser observado na Figura 5.18(a), os parâmetros que foram passados são exatamente o mesmo fornecido pelo sistema, ou seja, os parâmetros são normais. As Figuras 5.19 (a) ilustra a visualização do braço direito de um feto examinado e a Figura 5.19 (b) ilustra a visualização do braço direito considerado normal. Na visualização, o usuário não perceberá desigualdades entre os membros, considerando-se a estrutura normal, sem malformações.

O mesmo ocorre com o braço esquerdo alterando-se somente o posicionamento da estrutura na cena. A Figura 5.21 (a) mostra a visualização do braço esquerdo de um feto examinado e a Figura 5.21 (b) mostra a visualização do braço esquerdo gerado pelo sistema.

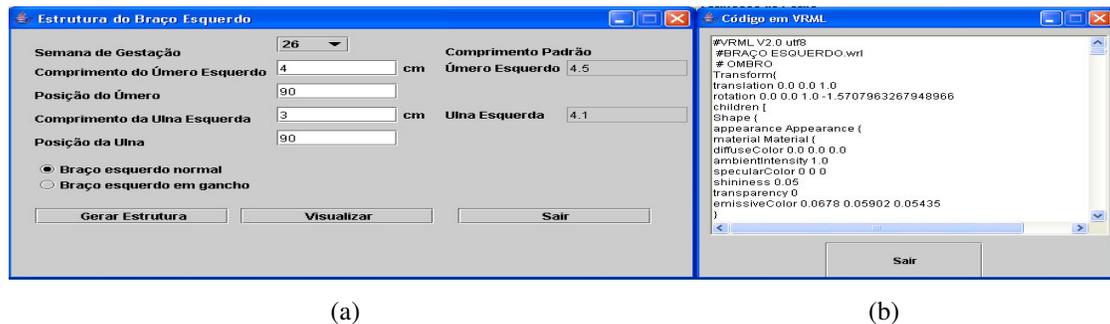


Figura 5.20 – Tela para onde são passados os parâmetros e gerado o código em VRML.

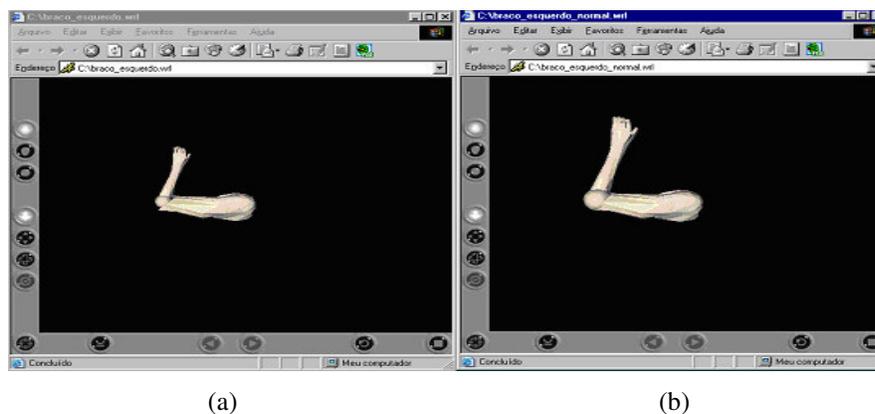


Figura 5.21 – Visualização do braço esquerdo. (a) Visualização do braço esquerdo de um feto examinado. (b) Visualização do braço esquerdo gerado pelo sistema.

Como pode ser observado na Figura 5.20 (a), o parâmetro tamanho da ulna está fora da média que o sistema fornece. Ao gerar o código e logo após a visualização, o usuário perceberá tamanha diferença entre os membros, podendo visualizar a existência de algum problema no desenvolvimento. Além das considerações anteriores, algumas malformações foram previstas no sistema. No Ultra-som bidimensional pode ser detectado uma envergadura do braço direito para dentro, considerando, assim, uma deformidade física conhecida como “braço em gancho”. Na tela para fornecimento de parâmetros é apresentada uma opção chamada “Braço direito em gancho”, como mostra a Figura 5.22. Assim que esta opção for selecionada, é gerado, então, o código do braço direito em gancho em VRML, obedecendo ao tamanho, semana e posicionamento. É gerado, também, o braço direito considerado normal, obedecendo tal posicionamento e semana de gestação, possibilitando a comparação entre as estruturas.



Figura 5.22 – Tela para formação do braço direito apresentando duas opções: Braço direito normal e Braço direito em gancho

No caso dos braços, tanto direito como esquerdo, a malformação poderá aparecer, também, no comprimento do braço. Por exemplo: o úmero (braço) poderá ser menor que o normal, assim como a ulna (antebraço) poderá ser menor que o normal ou ambos poderão ser menores que as medidas normais esperadas. Poderá ocorrer a falta de

uma das partes, ou do úmero ou da ulna, ou até mesmo a falta de ambos, resultando em um feto sem um ou ambos os braços.

Normalmente, quando acontece a falta do úmero, conseqüentemente haverá a falta do restante do braço, ou seja, faltará a ulna e a mão. E, quando há a falta da ulna, normalmente ocorrerá a falta da mão. Quando o usuário detecta a falta de uma das partes, deverá ser colocado, na tela de parâmetros, ou do úmero e/ou da ulna, o número zero. Dessa forma, o sistema entenderá que não haverá aquela parte.

O sistema se preocupou com as malformações que ocorrem com maior frequência. Assim, não são representadas malformações das mãos e dos pés, como: a medida que a mão e o pé deverão ter em uma determinada semana, ou a falta de algum dedo ou de todos e até mesmo a falta do membro. Isso porque, o usuário teria que entrar com mais informações para gerar esta estrutura, e isso não é o objetivo do trabalho. O objetivo é que o usuário entre com menor número de informações tornando possível a formação da estrutura fetal. Em relação à malformação das mãos e dos pés, isso deverá ser tratado em um trabalho futuro. A Figura 5.23 (a) apresenta uma das malformações dos braços, conhecida popularmente como “braços em ganchos” e a Figura 5.23 (b) ilustra os braços normais.

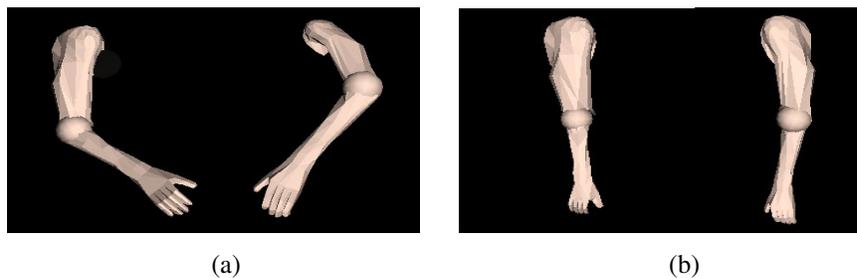


Figura 5.23 – Braços: (a) malformação “braços em ganchos”; (b) braços normais.

A tela de entrada de dados para geração do tronco é apresentada da mesma forma que as anteriores, ou seja, pedindo os parâmetros para a formação de tal parte do corpo, que, neste caso compreende o trecho cabeça-nádega. O usuário deverá fornecer os parâmetros mostrados na Figura 5.24 (a). A estatura do feto é o comprimento total cabeça-nádega e o diâmetro biparietal é a medida da circunferência do abdômen. Na Figura 5.24 (b) é mostrado o código gerado em VRML.

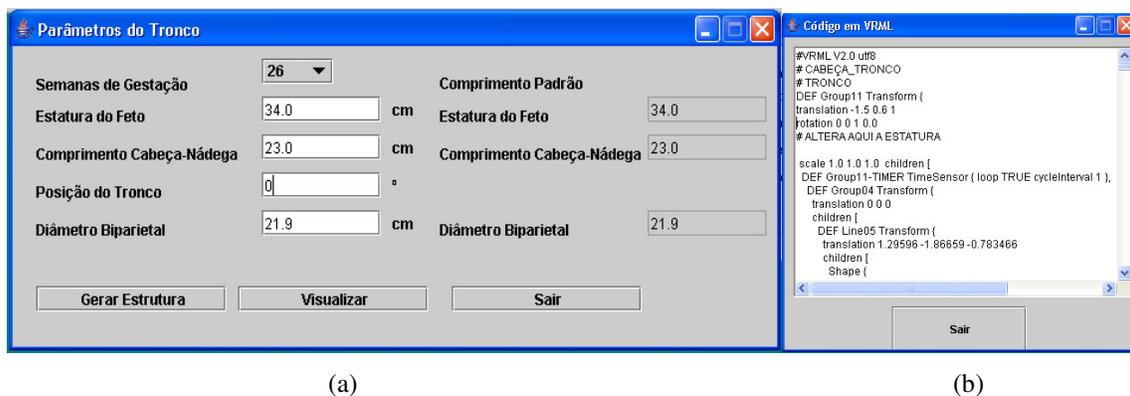


Figura 5.24 – Tela de entrada de dados do submenu Estatura e o código gerado em VRML.

Quando gerada a visualização do tronco do feto, ou seja, o comprimento da cabeça-nádega, o usuário verificará se há malformação nesta parte do corpo, podendo observar, por exemplo, se a circunferência craniana é muito maior ou menor que o diâmetro biparietal, de acordo com a semana de gestação selecionada. A Figura 5.25 (a) ilustra a visualização do tronco do feto examinado e a Figura 5.25 (b) ilustra o tronco do feto gerado pelo sistema.

VRML. E a Figura 5.27 (a) ilustra a visualização da perna direita do feto examinado e a Figura 5.27 (b) ilustra a perna direita gerada pelo sistema.

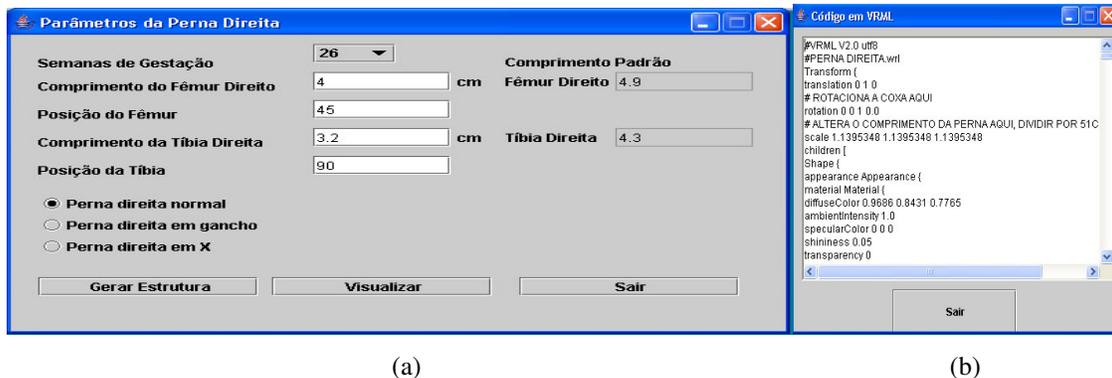


Figura 5.26 – Interface do sistema (a) tela de entrada de dados para a formação da perna direita; (b) código gerado em VRML.

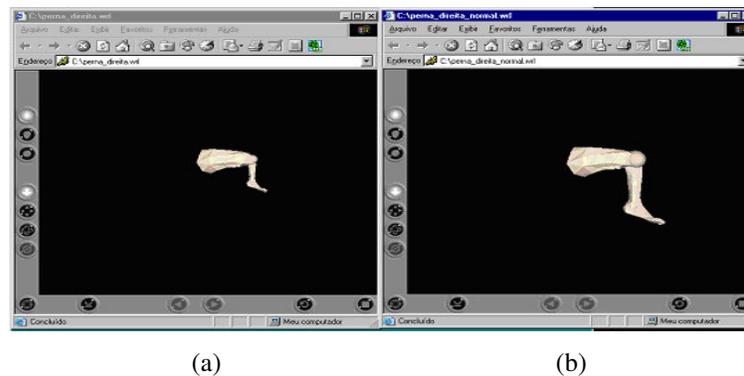


Figura 5.27 – Visualização da perna direita (a) perna examinada; (b) perna direita fornecida pelo sistema

De acordo com a Figura 5.27 (a), tanto o fêmur como a tíbia são muito menores que a perna da Figura 5.27 (b) que gera a perna normal. Neste caso o usuário pode considerar a perna direita do feto como portadora de deficiência. O mesmo ocorre com a perna esquerda. Os parâmetros são os mesmos, resultando na geração do código e a visualização deste membro. A Figura 5.28 (a) mostra a visualização da perna esquerda de um feto examinado e a Figura 5.28 (b) mostra a visualização da perna esquerda gerada pelo sistema.

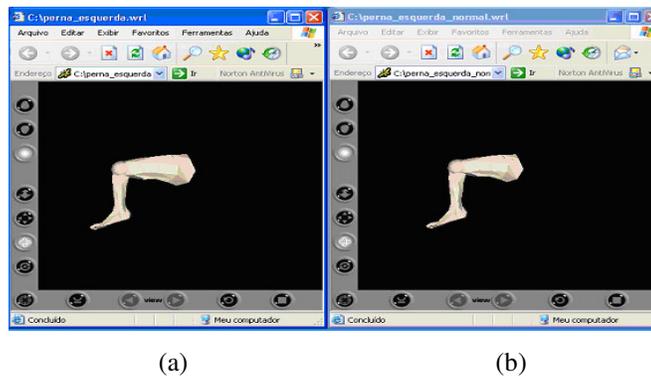


Figura 5.28 – Visualização da perna esquerda: (a) perna esquerda do feto examinado; (b) perna esquerda fornecida pelo sistema.

Da mesma forma que acontece com a representação 3D dos braços, o sistema oferece, opções para representação de deformidades da perna conhecidas popularmente como “perna em gancho” e “perna em X”. É importante ressaltar que quando selecionada a opção “perna em gancho” ou “perna em X” na tela da perna esquerda será automaticamente selecionada a mesma opção escolhida na tela da perna direita. Isso ocorre porque a apresentação dessas deformidades normalmente ocorre no par de membros. A Figura 5.29 (a) ilustra a visualização da “perna em gancho” e a Figura 5.29 (b) ilustra a visualização da “perna em X” e a Figura 5.29 (c) ilustra a visualização da perna normal fornecida pelo sistema.

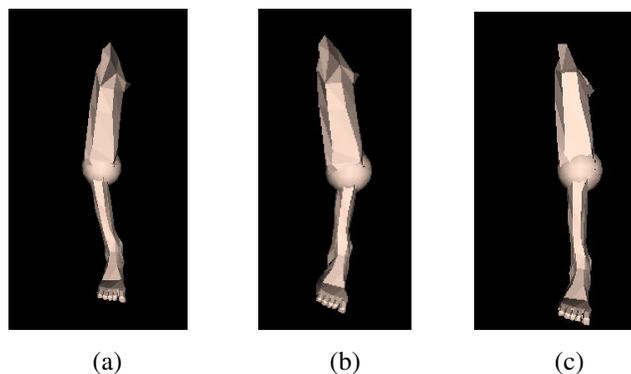


Figura 5.29 – Visualização das pernas: (a) “perna em gancho”; (b) “perna em X”; (c) perna normal.

Depois que todos os parâmetros foram fornecidos de acordo com a semana de gestação, é possível visualizar o feto inteiro. A tela apresentada na Figura 5.30 (a) reúne todos os parâmetros fornecidos individualmente para cada membro do corpo, assim como as opções selecionadas para representação de deformidades. É também visualizado o código em VRML do corpo inteiro do feto, como mostra a Figura 5.30 (b).

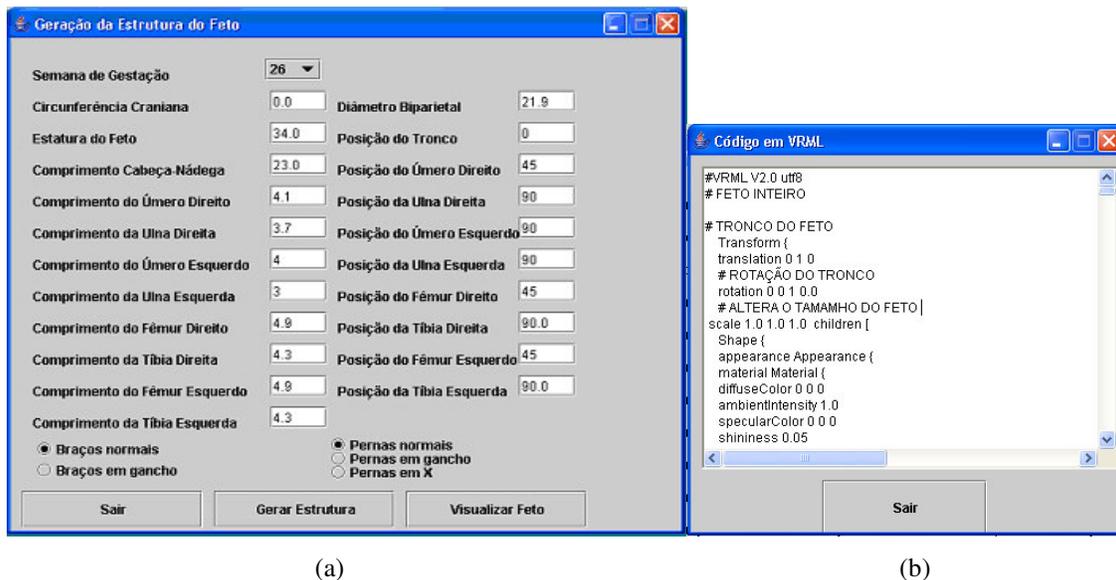


Figura 5.30 – Interface do sistema (a) tela onde são armazenados todos os parâmetros; (b) código em VRML do corpo inteiro do feto.

O sistema gera o arquivo em VRML, de acordo com os parâmetros e as opções selecionadas. Se o feto tem os braços e pernas normais, é gerado em VRML um feto normal, mas isso não significa que os fetos que são selecionados com braços e pernas normais são considerados normais, pois será verificado se os comprimentos desses membros estão normais ou se há falta desses membros ou partes deles. Pode ocorrer, por exemplo, o caso de um feto que tem o úmero, mas não tem a ulna ou a ulna é muito menor que a medida padrão.

Assim que for possível visualizar o feto examinado, automaticamente é apresentado um feto considerado normal, fornecido pelo sistema, obedecendo ao posicionamento de todos os membros e a semana de gestação. Isso ocorre para que o usuário possa fazer uma comparação final, obtendo um resultado exato da formação do feto. A Figura 5.31 (a) mostra a imagem de um feto inteiro examinado e a Figura 5.31 (b) mostra a imagem do feto inteiro fornecido pelo usuário. Como pode ser observado nestas imagens, o feto examinado possui malformações na cabeça, na ulna esquerda, no fêmur direito e na tíbia direita.

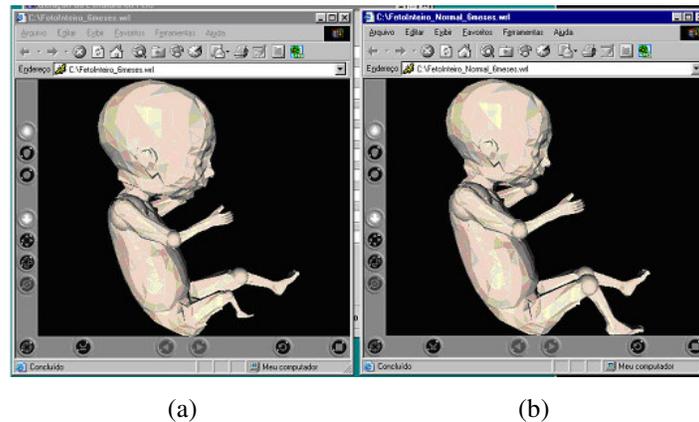


Figura 5.31 – Visualização do corpo inteiro do feto. (a) feto examinado; (b) feto gerado pelo sistema.

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é feita uma análise e descrita a avaliação do sistema implementado para geração dinâmica de estruturas de feto. O objetivo é oferecer um comparativo do sistema desenvolvido com os resultados obtidos nos exame de US, assim como apresentar a avaliação da comunidade médica, usuário final.

Com a finalidade de verificar a utilidade, vantagens e desvantagens do sistema, são apresentados os resultados de testes realizados com imagens bidimensionais de alguns membros do feto e, então é apresentado o resultado final da imagem tridimensional. Para cada membro são apresentados os resultados obtidos com a representação bidimensional, ou seja, na sua forma original e os resultados obtidos com a execução do sistema, sendo verificada cada estrutura, o corpo fetal e a detecção de malformações.

6.1 – Análise comparativa dos métodos tradicional e proposto

Para os testes foram utilizadas imagens bidimensionais extraídas de exame de ultra-sonografia para fornecer medidas para a geração das estruturas tridimensionais, assim como imagens tridimensionais de Ultra-sonografia para comparação com as estruturas modeladas.

É possível extrair medidas nas imagens bidimensionais de Ultra-som utilizando-se técnicas de processamento de imagem. Como essas técnicas não

constituem o escopo deste trabalho, as medidas são fornecidas pelo usuário.

Em um exame tradicional utilizando o US 3D, a partir do sexto mês de gestação, compreendendo entre as semanas de 26 a 28, não é mais possível a visualização nítida das estruturas fetais, inviabilizando o exame em alguns casos. Com isso o sistema objetivou suprir algumas das necessidades deste exame, gerando fetos a partir do sexto mês de gestação.

A ferramenta constrói estruturas sintéticas de modelagem 3D visando uma representação o mais semelhante possível à imagem 3D real, gerada por US. Para exemplificar a fidelidade da modelagem com as estruturas fetais, foram utilizadas imagens tridimensionais de US para comparar as estruturas obtidas no exame com as estruturas modeladas. A Figura 6.1(a) ilustra a imagem de um feto real, com malformações nos braços, popularmente conhecida como “braços em ganchos” e a Figura 6.1(b) ilustra a imagem modelada e refinada com as devidas deformações e respeitando o tamanho e o posicionamento do feto obtido na imagem real. A Figura 6.2(a) ilustra a imagem de US 2D da cabeça de um feto real e a Figura 6.2(b) ilustra a imagem modelada e refinada de acordo com os parâmetros recebidos do usuário.



(a)



(b)

Figura 6.1 –Modelagem tridimensional: (a) imagem de um feto real, com malformações nos braços; (b) imagem modelada e refinada de acordo com as malformações.

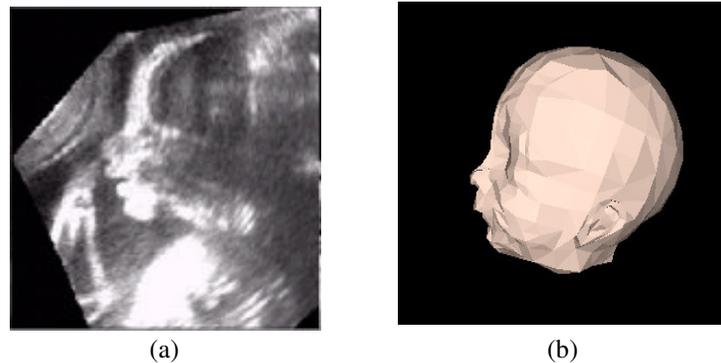


Figura 6.2 –Modelagem tridimensional: (a) imagem da cabeça de um feto real; (b) imagem modelada e refinada de acordo com os parâmetros recebidos do usuário.

Como pôde ser observado a partir das imagens anteriores, um dos problemas do US 3D que foi resolvido foi a nitidez da imagem, ou seja, a ausência de artefatos. O US 3D reflete tudo o que há no ventre materno, inclusive cordão umbilical, placenta e parede uterina. Isso pode dificultar a visualização do feto, pois tudo o que se reflete, exceto o feto, é considerado um artefato ou ruído, ou seja, algo que atrapalha a nitidez da visualização fetal. Algumas vezes, o ruído pode tornar a imagem muito diferente da realidade, parecendo que o feto possui alguma malformação, como por exemplo, a falta de algum membro ou malformação no rosto ou em outros membros.

Depois que o usuário fornece ao sistema todos os parâmetros para a modelagem do feto, esse é visualizado em um browser, com o *plug-in* devidamente instalado. O *plug-in* (no caso, o Cortona) interpreta as cenas escritas em código VRML, possibilitando a interação com a estrutura apresentada. A Figura 6.3 mostra um exemplo comparativo, sendo que a Figura 6.3 (a) ilustra a imagem bidimensional de um feto real, a Figura 6.3 (b) ilustra a imagem tridimensional de um feto real e a Figura 6.3 (c) ilustra a estrutura desenvolvida pelo sistema.

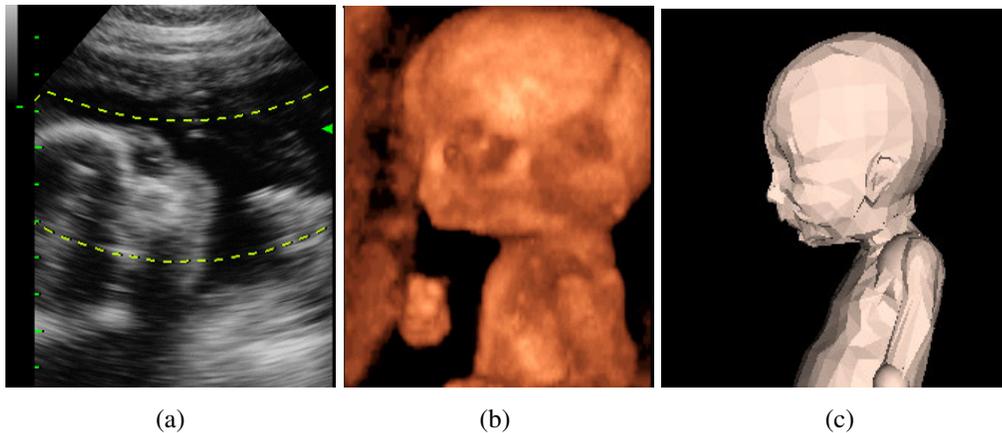


Figura 6.3 – Imagem do feto: (a) imagem bidimensional de um feto; (b) imagem gerada em um US3D; (c) representação gerada pelo sistema.

A idade gestacional pode limitar o exame de US 3D, sendo ideal sua realização até a 32^a semana de gestação. Idades gestacionais superiores a 32 semanas poderão oferecer um exame de difícil avaliação pela diminuição fisiológica de líquido amniótico e aumento do volume fetal havendo, na maioria das vezes, interposição de estruturas que poderão prejudicar a visualização.

Algumas deformações físicas tornam-se mais aparentes a partir do sexto mês de gestação, pois este é o momento a partir do qual o corpo deve estar totalmente formado. Por este motivo, o sistema se preocupou em desenvolver fetos a partir desta idade gestacional. A Figura 6.4 (a) mostra a imagem bidimensional um feto com 26 semanas de gestação e a Figura 6.4 (b) ilustra a representação 3D correspondente, desenvolvida pelo sistema.



Figura 6.4 – Visualização do corpo inteiro do feto: (a) imagem do corpo do feto em um US2D; (b) imagem do corpo do feto gerado pelo sistema.

Durante o desenvolvimento do sistema, foram feitas pesquisas práticas, ou seja, foram presenciadas gestantes acima de 32 semanas de gestação realizando os exames de Ultra-sonografia, tanto bidimensional como tridimensional, e foi observado que a partir dessa idade gestacional não era mais possível visualizar a imagem do corpo inteiro do feto, sendo visível apenas os membros. Neste caso, o usuário extrai as medidas de todos os membros separadamente, como, por exemplo, o fêmur e a tíbia, mostrados nas Figuras 6.5 (a) e 6.5 (b). Assim que são fornecidas as medidas, é possível à representação 3D das partes, como mostra a Figura 6.5 (c).

Na Figura 6.6 (a) ilustrando os úmeros esquerdo e direito e as ulnas esquerda e direita do feto. A Figura 6.6 (b) ilustra a representação tridimensional das partes. Neste caso, o usuário poderá também extrair as medidas da cabeça e do tronco, de acordo com a Figura 6.6 (a), para representar tridimensionalmente como mostra a Figura 6.6 (c).

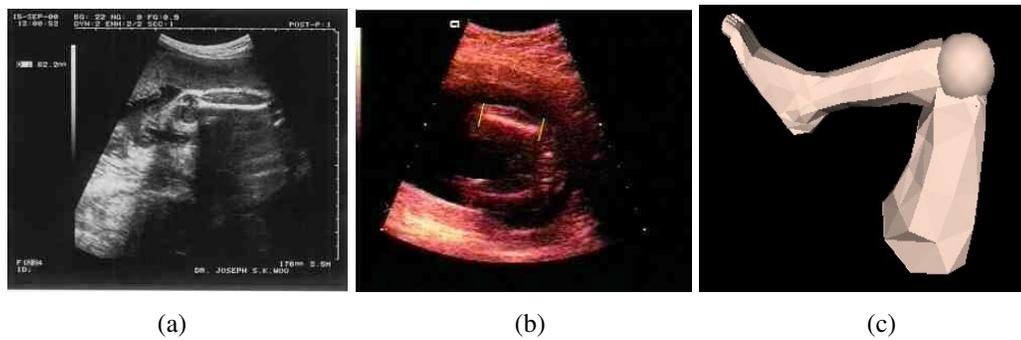


Figura 6.5 – Representação das partes do corpo do feto: (a) imagem real do fêmur esquerdo do feto; (b) imagem real da tíbia esquerda do feto; (c) representação tridimensional das partes.

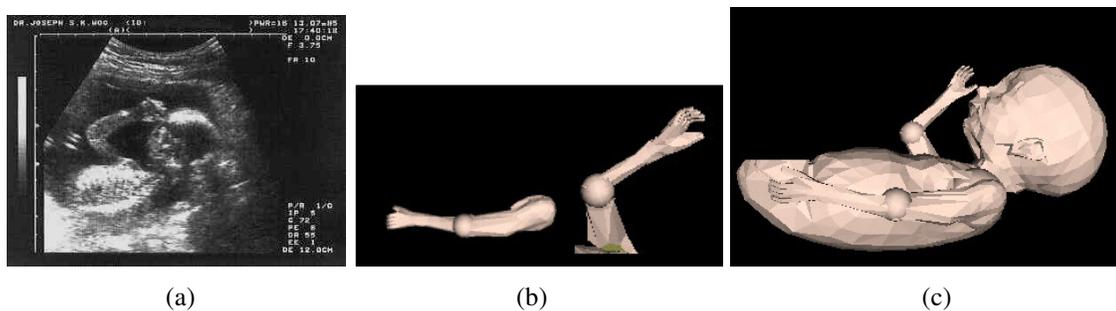


Figura 6.6 – Representação das partes do corpo do feto: (a) imagem real dos úmeros esquerdo e direito; (b) representação tridimensional das partes esquerda e direita; (c) representação tridimensional da imagem real.

O sistema armazena todas as informações dos membros individualmente. Essas informações são passadas para o código fonte que representa tridimensionalmente cada estrutura, podendo ser gravadas separadamente para cada membro e em um único bloco, juntando os códigos que geram todas as estruturas, formando o corpo inteiro do feto. Com isso o sistema permite a representação tridimensional do corpo inteiro do feto até a última semana de gestação, obedecendo aos parâmetros fornecidos pelo usuário. A Figura 6.7 ilustra a imagem final, ou seja, como o feto está posicionado dentro do ventre materno. As Figuras 6.8 (a), 6.8 (b) e 6.8(c) ilustram a mesma imagem em diversos ângulos.

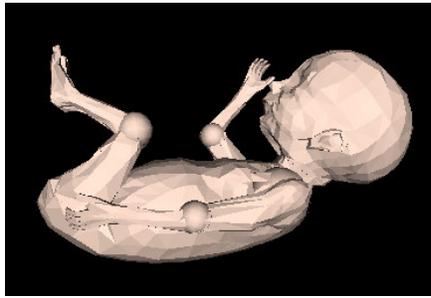


Figura 6.7 – Representação tridimensional do corpo inteiro do feto.

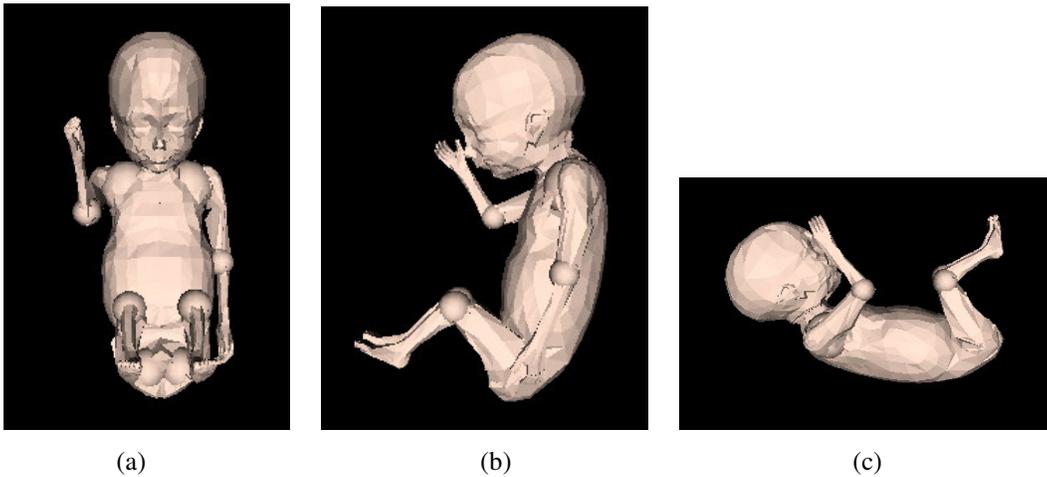


Figura 6.8 – Imagem em diversos ângulos: (a) imagem frontal do feto; (b) imagem lateral do feto; (c) imagem lateral, em um outro ângulo, do feto.

A Figura 6.9 (a) apresenta a imagem de um feto com 35 semanas de gestação. De acordo com os parâmetros obtidos na imagem bidimensional, o feto tem tamanho normal e o sistema representa a imagem do feto dentro do ventre materno. Outra característica do sistema aqui apresentado é a possibilidade de visualizar, em tempo real, as estruturas modeladas em diversos ângulos, facilitando a observação de possíveis anomalias presentes em outros membros. A Figura 6.9 (b) apresenta um feto de 39 semanas, esperando o nascimento.

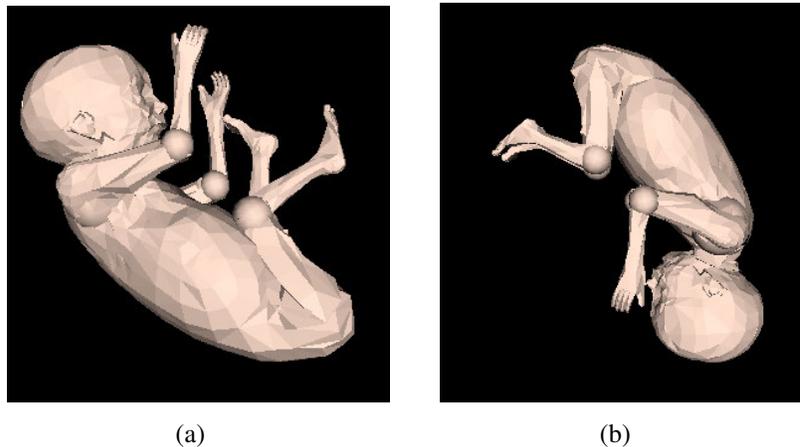


Figura 6.9 – Imagem do corpo inteiro do feto: (a) feto com 35 semanas de gestação; (b) feto com 39 semanas de gestação.

Como mencionado no capítulo anterior, o sistema também representa fetos com malformações: ausência de membros superiores ou inferiores, “braços ganchos”, “pernas ganchos”, “pernas e braços ganchos”, “pernas em X” e nanismo, sendo este último representado pela diminuição nos comprimentos de estruturas.

A Figura 6.10 ilustra fetos com algumas malformações físicas gerados pelo sistema. A Figura 6.10 (a) ilustra a imagem de um feto com seis meses de gestação com os braços em ganchos, a Figura 6.10 (b) ilustra a imagem de um feto com seis meses de gestação com braços e pernas em ganchos. Na Figura 6.10 (c) é possível observar um feto com sete meses de gestação com pernas ganchos e a Figura 6.10 (d), a imagem de um feto com oito meses de gestação com “pernas em X”. A Figura 6.10 (e) ilustra a imagem de um feto com seis meses de gestação com “braços em ganchos” e “pernas em X”. A ausência de partes do corpo e outras deformidades são mostradas nas demais Figuras, sendo que a Figura 6.10 (f) ilustra um feto com nove meses de gestação sem a ulna (antebraço) direita, a Figura 6.10 (g) mostra um feto com nove meses de gestação

sem a tíbia direita. Na Figura 6.10 (h) é representado um feto com seis meses de gestação com a tíbia esquerda menor que o normal e a Figura 6.10 (i) mostra a imagem de um feto com oito meses de gestação com a cabeça maior que o normal.

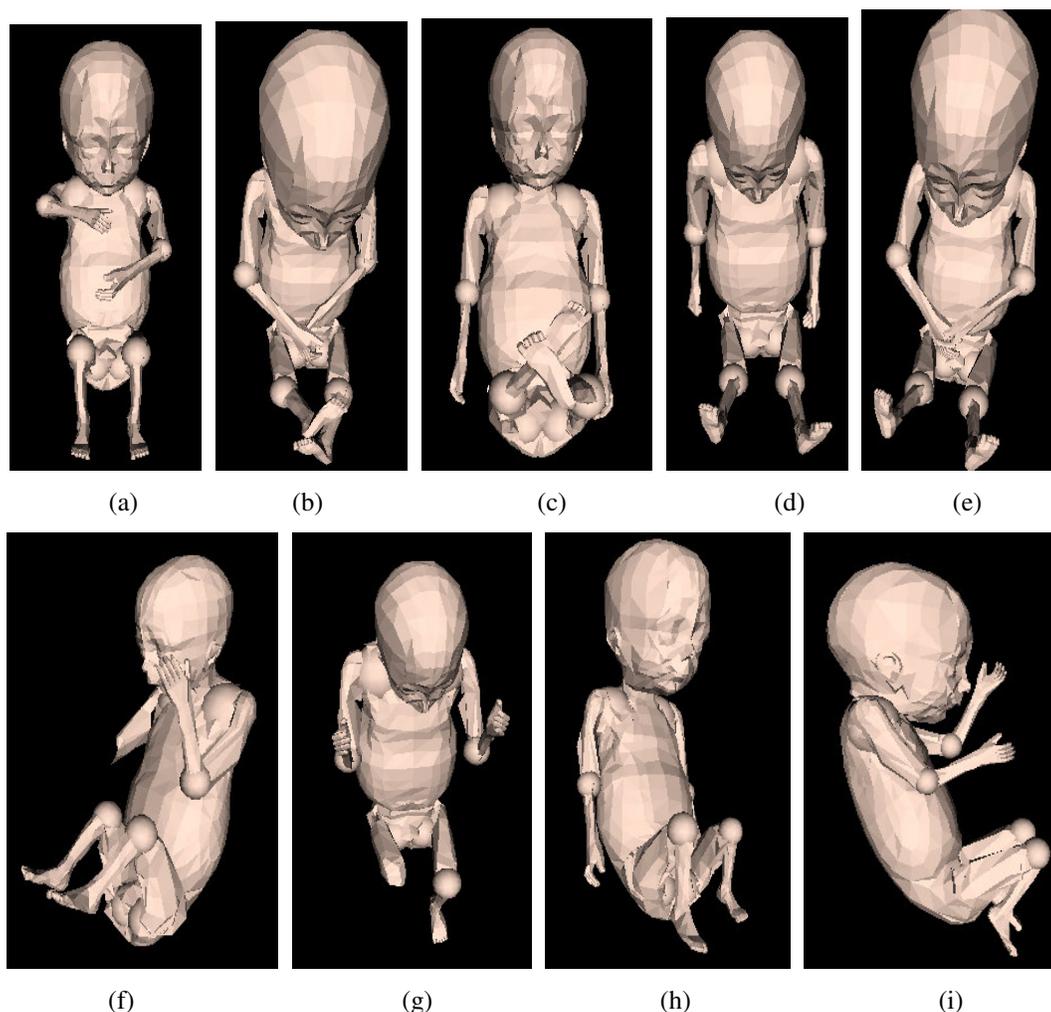


Figura 6.10 – Algumas malformações fetais representadas pelo sistema: (a) feto com braços em “ganchos”; (b) feto com braços e pernas “ganchos”; (c) feto com pernas “ganchos”; (d) feto com pernas em “X”; (e) feto com braços “ganchos” e pernas “X”; (f) feto com ausência da ulna direita; (g) feto com ausência da tíbia direita; (h) feto com a tíbia esquerda menor que o normal; (i) feto com a cabeça maior que o normal.

Além das considerações anteriores, é importante destacar o fator custo. O US 3D apresenta uma série de vantagens em relação ao US 2D, considerando-se à

visualização da estrutura fetal, porém, ainda tem um custo muito alto, inacessível principalmente em órgãos públicos, que trabalham com limitação de verbas. O US 2D tem um custo bem inferior, mas apresenta limitações na questão de visualização de estruturas, como destacado durante a revisão bibliográfica apresentada sobre este assunto. O sistema desenvolvido utiliza uma plataforma computacional bem acessível sendo de baixo custo para o usuário. Assim, pode constituir uma alternativa para a visualização 3D de forma rápida, fácil e barata.

6.2 – Análise tecnológica

Como foi mencionado na seção 5.1, foi utilizado para o desenvolvimento do sistema um computador tipo PC com 126 Mb de RAM, processador Pentium III Intel MMX, 800 MHz de velocidade, placa de vídeo Generic PERMEDIA II 3D Accelerator e dispositivos convencionais, o suficiente para o funcionamento do sistema com um desempenho satisfatório.

Um exemplo do desempenho do sistema é a velocidade e o tempo que se abre cada janela chamada, para isso foi utilizada a classe `import java.util.Date` que contabiliza o tempo que se executa as tarefas solicitadas. Para formar a cabeça do feto, a primeira janela solicitada é a do fornecimento de parâmetros, que se abre em fração de segundos. A segunda janela, que é a geração do código em VRML abre-se em apenas um segundo. As terceira e quarta janelas, onde são visualizados os membros examinado e normal, abrem-se em até 3 segundos. O mesmo acontece com os membros superiores (úmeros e

ulnas) e inferiores (fêmures e tíbias), pois o número de linhas de códigos é quase o mesmo.

Para formar o tronco do feto, a segunda janela leva cerca de 8 segundos para abrir e a primeira e a terceira janelas abrem com o mesmo tempo que se abrem as janelas dos outros membros. Isso acontece porque a estrutura do tronco é mais complexa e o número de linhas de códigos é bem maior, fazendo com que o sistema leve um maior tempo para ler e executar todo o código.

Para formar o corpo inteiro do feto, a disponibilização da janela com código VRML leva cerca de 15 segundos, devido à complexidade e o grande número de linhas de códigos a serem lidas. Em relação à janela que fornece o parâmetro e às janelas que permitem a visualização dos fetos, examinado e normal, abrem-se com o mesmo tempo que se abrem as janelas dos outros membros.

A linguagem Java supriu as necessidades de desenvolvimento, tornando o sistema prático para se operar. Também permitiu a interação com um *plug-in* que gera tridimensionalmente uma estrutura, no caso o VRML. Além disso, a linguagem possui várias bibliotecas prontas para interação com o usuário. O VRML comporta na própria tela de visualização, componentes que proporcionam interação imediata entre usuário e o objeto tridimensional. Além disso, o VRML, assim como o Java e o Cortona, está disponível para *download* na Internet.

Deve ser salientado que a ferramenta foi desenvolvida com equipamentos convencionais, apresentando a possibilidade de visualização tridimensional das estruturas por múltiplos usuários, não permitindo o isolamento do usuário no mundo

virtual.

6.3 – Análise qualitativa realizada por usuários médicos

Após a conclusão do sistema, este foi apresentado para alguns usuários, basicamente médicos da área de ginecologia e obstetrícia. Essa avaliação teve como objetivo coletar as impressões da comunidade médica em relação aos aspectos de credibilidade e confiança do sistema.

Assim, foi feita uma avaliação preliminar por cinco médicos especialistas em exame de ultra-sonografia. Dois deles trabalham apenas com US 2D, um trabalha com US 2D e US 3D e os outros dois não trabalham com o Ultra-som, sendo que para estes é preciso o encaminhamento da gestante para um especialista na área.

Foram formuladas sete perguntas. A primeira delas referia-se à experiência dos médicos em relação à Ultra-sonografia. Todos identificaram-se especialistas. Nas perguntas de 2 a 6 foi solicitado aos entrevistados, que atribuíssem notas de 0 a 10 a aspectos diversos do sistema. Na sétima questão os médicos opinaram sobre o sistema, fazendo críticas e sugestões. A seguir são apresentadas as tabulações das questões mensuráveis e as opiniões colhidas na questão dissertativa. A Figura 6.11 apresenta os gráficos com as notas coletadas. As cinco primeiras barras de cada gráfico indica a avaliação individual de cada entrevistado e a última barra apresenta a média aritmética das notas atribuídas.

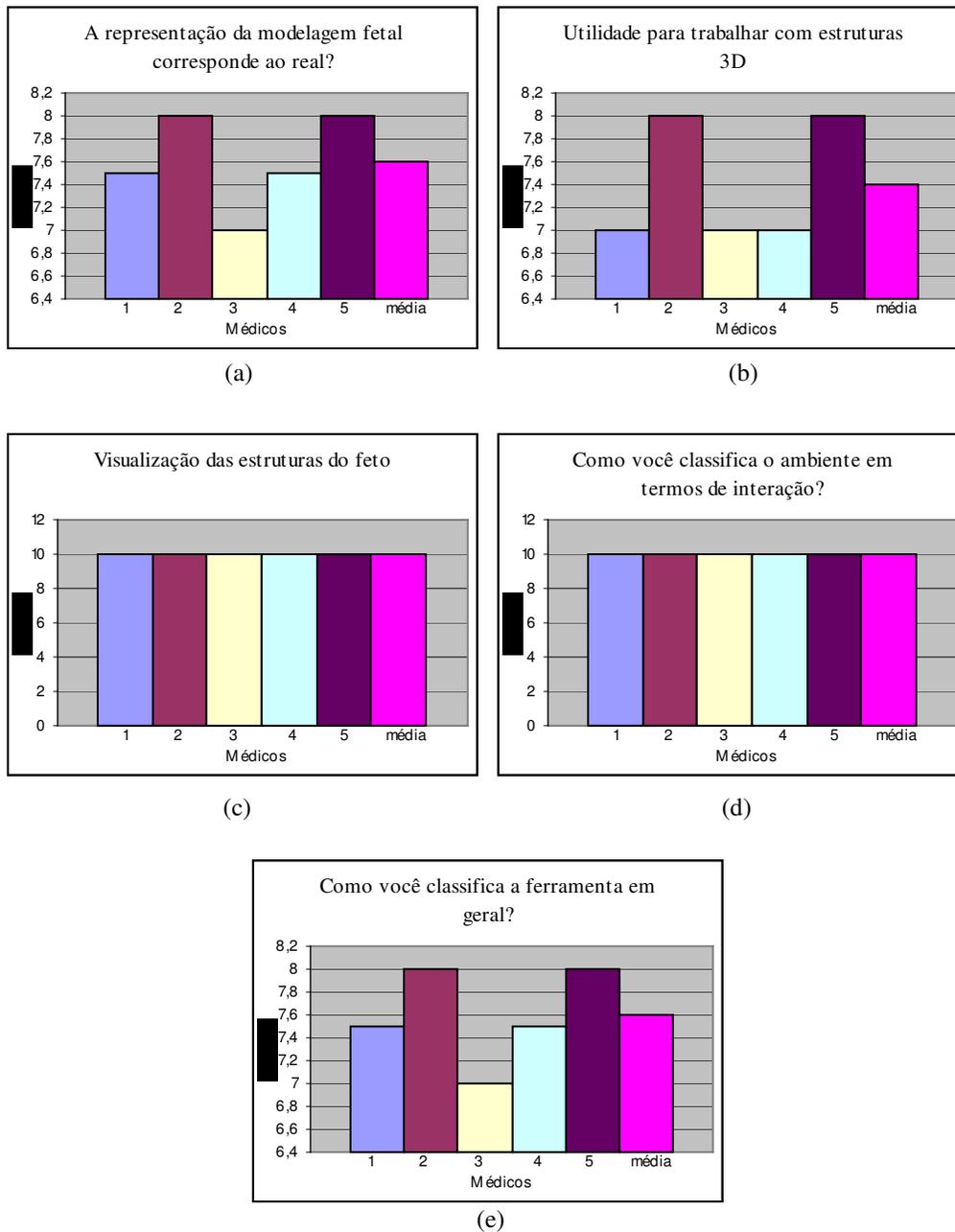


Figura 6.11 – Gráficos das notas recebidas dos especialistas: (a) avaliação sobre a representação fetal; (b) avaliação sobre a utilidade; (c) avaliação sobre a visualização; (d) avaliação sobre interação; (e) avaliação geral.

Como pode ser observado na Figura 6.11(a), na segunda questão foi indagado

se o sistema teria representado a modelagem fetal semelhante ao real. Todos eles deram respostas positivas, porém disseram que é preciso melhorar a pele do feto, devido às triangulações apresentadas e às juntas que ficaram um pouco aparente. Outra crítica feita foi a ausência do sexo do feto, porque a proposta do projeto era auxiliar o usuário apenas com estruturas. Devido a essas críticas, as notas da pergunta indagada variaram de 7 a 8.

Na terceira questão (Figura 6.11b) foi perguntado sobre a utilidade de se trabalhar com estruturas 3D. Todos responderam positivamente, porém a ferramenta representa algumas anomalias e não trata todas as malformações existentes. Devido a essas críticas, a média geral foi 7,5.

Na quarta questão foi indagado a visualização das estruturas e do feto. Todos responderam positivamente, sem críticas. Devido a isso, a média geral foi 10 (Figura 6.11c). A mesma nota foi dada à quinta questão em relação a classificação do ambiente em termos de interação (Figura 6.11d).

Na sexta questão foi perguntado como os entrevistados classificariam o sistema em geral. Foram feitas algumas críticas e sugestões, porém, em geral, os entrevistados acharam a ferramenta muito interessante e útil para aplicação clínica. Devido as críticas propostas e sugestões, a média final foi 7,5.

A sétima e última questão coletou as opiniões sobre o sistema apresentado. A seguir são destacadas algumas opiniões colhidas durante a entrevista.

Os especialistas em US 2D apreciaram as diversas características do sistema, relatando o fato de ser possível examinar uma gestação em um ambiente de fácil manuseio, eliminando a necessidade da compra de um US 3D devido ao alto custo.

Outra observação foi com a fidelidade da estrutura modelada e a eliminação de artefatos, podendo a estrutura ser observada mais detalhadamente, principalmente na presença de malformações. Ressaltaram também que o fato de não poderem obter um US 3D, o sistema seria de grande utilidade. Sugeriram também que fosse acrescentada a representação do sexo do feto e a possível representação desde o início da gestação.

O especialista que trabalha com os dois tipos de Ultra-som, apreciou a idéia do sistema, ressaltando ser muito interessante. Observou que para trabalhar com a parte externa da estrutura é de grande utilidade, e também sugeriu que o sistema deveria representar o sexo do feto, pois, dessa forma, assemelhar-se-ia mais a um Ultra-som real. Ressaltou também que para o sistema identificar todas as malformações possíveis seria um trabalho de longo prazo devido às inúmeras e variadas deformações físicas. Salientou ainda a idéia de desenvolver um outro sistema que representasse apenas fetos normais.

Os outros dois especialistas que não trabalham com US, acharam a idéia inovadora, ainda não mencionada na comunidade médica. Ressaltam ser muito útil, pois poderiam obter um aparelho de US 2D e utilizar a ferramenta implementada para auxiliá-los.

As representações tridimensionais dos membros e do corpo inteiro do feto utilizadas no sistema satisfizeram os especialistas, havendo necessidade de melhorar a textura que representa a pele para que os triângulos do modelo não sejam tão aparentes. Outro aspecto percebido é que dependendo do tamanho da circunferência craniana, sabe-se o problema que o feto possui, mas para representar a hidrocefalia com fidelidade o

crânio deveria ser muito maior que a face do feto.

Em relação aos dispositivos físicos, esses foram bem aceitos, uma vez que seu custo é acessível e os *softwares* adquiridos para a execução do sistema estão disponíveis para download, tornando um sistema de baixo custo.

De acordo com os especialistas, a interface do sistema é bem simples e de fácil entendimento, podendo qualquer especialista trabalhar com o sistema. A visualização do feto foi bem aceita, uma vez que a imagem é nítida, não contendo artefatos e que os botões de controle presentes na tela, permitem ao usuário manipular e visualizar as estruturas em ângulos não obtidos na imagem bidimensional original. Isso faz com que o usuário tenha uma melhor avaliação das estruturas examinadas, visualizando malformações. O fato de visualizar uma outra estrutura padrão para comparação torna o sistema mais confiável e o usuário mais seguro, podendo este encaminhar a gestante a um exame específico, se necessário.

Conforme demonstrou a avaliação, o sistema apresenta grande potencial mostrando ser um sistema interessante para os especialistas da área.

6.4 – Aprimoramentos futuros

Além da opinião dos usuários potenciais, o sistema foi apresentado em alguns eventos científicos (HERMOSILLA et al., 2003; HERMOSILLA et al., 2004(a), HERMOSILLA et al., 2004(b) e LUZ et al., 2004), tendo sido identificadas algumas

sugestões de melhorias tanto computacionais quanto de funcionalidades como sendo fatores de aumento de realismo e utilidade do sistema.

Uma das melhorias possíveis é desenvolver todo o sistema, desde a passagem de parâmetros até a visualização da estrutura fetal utilizando a API Java 3D (conjunto de classes Java que permite a implementação de sistema de Realidade Virtual), pois a inclusão de objetos mais complexos na cena em um ambiente VRML pode tornar o sistema lento. Com a estrutura atual do feto a resposta à interação do usuário é rápida, porém uma modelagem com mais polígonos pode afetar este desempenho.

Outro aprimoramento possível refere-se à definição das medidas padrões utilizadas para gerar o feto normal para comparação. As medidas armazenadas no sistema foram extraídas da literatura (ANEXO A a D), considerando-se os padrões de fetos de biótipos americanos. Pode-se considerar que cada raça tem um biótipo diferente e que não há um padrão para o biótipo brasileiro. Dessa forma o sistema poderia criar uma base de dados com as medidas fornecidas pelo usuário, criando um biótipo brasileiro ou, ainda, inferir medidas para o feto a partir das características dos pais.

Foram citados outros aprimoramentos, como, por exemplo, a utilização de dispositivos não convencionais, a disponibilização do sistema na World Wide Web e a expansão da representação 3D para considerar também os cinco primeiros meses da gestação.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho aqui apresentado foi gerar dinamicamente estruturas de feto a partir do sexto mês de gestação.

A arquitetura projetada do sistema permite representar tridimensionalmente qualquer estrutura de feto a partir de medidas extraídas de imagens de US 2D. Assim, é possível que os interessados interajam com o sistema, visualizando projeções do feto não obtidas nas imagens bidimensionais originais.

A geração dinâmica do programa fonte faz com que o sistema seja independente das características identificadas em cada caso, pois a posição, o tamanho e outros aspectos das estruturas a serem representadas podem ser totalmente variáveis, uma vez que são fornecidos através de parâmetros. O fato de gravar um arquivo externo com o código fonte permite que a estrutura seja visualizada inúmeras vezes, a partir de um ambiente que reconheça o código VRML.

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que o sistema apresenta como vantagem a possibilidade de representar a estrutura examinada e o corpo inteiro do feto a partir do sexto mês de gestação, apresentando objetos com propriedades físicas semelhantes às de um feto real e o enriquecimento do processo de aprendizado com a possibilidade de observações e estudo da anatomia fetal em três dimensões. Outras vantagens referem-se ao custo, viabilizando a sua implantação, a utilização de um método de interação e visualização realista.

A ferramenta aqui apresentada pode contribuir em dois campos importantes: na manipulação das estruturas tridimensionais para a visualização do feto a partir de ângulos não obtidos em imagens bidimensionais e na segurança e clareza da visualização de deformidades físicas por não obter placenta e demais ruídos nas imagens.

Outras vantagens do sistema são a possibilidade de armazenar e alterar dados, para revisão posterior; manipulação interativa dos dados, de modo a obter ângulos de visão não possíveis no Ultra-som 2D e em tempo real; apresentação nítida das imagens, melhorando o entendimento da anatomia fetal; demonstração da anatomia fetal com imagens realistas, de mais fácil compreensão para não-especialistas.

A continuação deste trabalho, a partir dos aprimoramentos possíveis apresentados no capítulo anterior podem fornecer, inclusive, uma contribuição no sentido de criar estruturas que representam tridimensionalmente um biótipo brasileiro de feto.

A principal vantagem do projeto é oferecer um sistema que apresente as mesmas características, em termos cognitivos, de um procedimento real realizado em gestantes. Acreditamos que essas características, aliadas à disponibilidade do sistema, contribuem para a visualização e manipulação das estruturas de maneira fácil e rápida para o usuário com baixo custo.

A Realidade Virtual tornou possível a realização desta ferramenta por constituir-se em uma aliada em desenvolvimento de sistemas diferenciados, com interfaces próprias e visualizações de informações provenientes dos mais diversos tipos de modalidades de imagens médicas, trazendo inúmeros benefícios, fazendo com que os

usuários da comunidade médica sintam-se mais próximos de situações reais.

Devido ao crescimento da tecnologia, equipamentos de *hardware* e *software* estão contribuindo para o avanço da Informática voltados para a Medicina, reduzindo o seu custo. Além disso, as evidências apontam na direção de que os sistemas de ambientes virtuais podem revolucionar a forma como nós interagimos com sistemas complexos em computador. As aplicações são muitas e é fácil predizer que os ganhos e os benefícios da Realidade Virtual para a área médica tendem a crescer, à medida que diminuïrem os custos e aumentarem a disponibilidade de *software* e *hardware* nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, M. J. **Augmented Reality Technology**: UNC Ultrasound/Medical Augmented Reality Research. Carolina do Norte. 2000. Disponível em: <<http://www.cs.unc.edu/~us/laparo.html>>. Acesso em: 11/mar/2003.

ACKERMAN, M. J. **Accessing the Visible Human Project**. Office of High Performance Computing and Communications National Library of Medicine, Bethesda, MD, 1995.

AMES, A. L., NADEAU, D.R., MORELAND, J. L.. **VRML 2.0**. Sourcebook, 2nd ed. New York: John Wiley, p. 654, 1997.

AZUMA, R. **A Survey of Augmented Reality**. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), agosto, p. 355-385, 1997.

BEDAQUE, C. **O Homem e o Ambiente**. vol 2. Editora Saraiva. São Paulo, 1997.

BEGA, G et al **Three-dimensional ultrasonographic imaging in obstetrics**: J Ultrasound Med. Canadá. v. 20, p. 391-408, 2001. Disponível em <www.aium.org>

BEITLER, M. **Anthropometric models of children**: Humanoid Animation Specification (H-Anim). 2001. Disponível em: <<http://h-anim.org/Specification/H-Anim2001>>. Acesso em: 07/jul/2002.

BLAB, H. A. **3Dstudio Max**. 2002. Disponível em: www.3dstudio.com. Acesso em: junho, 2003.

BLUTH, E. I., **A Practical approach**. Ultrasound in obstetrics and gynecology. 2002. Disponível em: <<http://electronics.howstuffworks.com/ultraspund.htm>>. Acesso em: 11/mar/2003.

BRO-NIELSEN, M.; TASTO, J.; CUNNINGHAM, R.; MERRIL, G. **PreOp™ Endoscopic Simulator: A PC-Based Immersive Training System for Bronchoscopy. Medicine Meets Virtual Reality**. Studies in Health Technology and Informatics n.62, p. 76-82. IOS Press, 1999.

BURDEA, G.; PATOUNAKIS, G.; POPESCU, V.; WEISS, R. **Virtual Reality Training for the Diagnosis of Prostate Cancer**. Virtual Reality Annual International Symposium Proceedings, p. 190-197. IEEE, 1999.

CARDOSO, S. H. **O ser humano virtual**: Intermedic. Campinas. 1997. Disponível em: <http://www.epub.org.br/intermedic/n0101/visible/visible_p.htm>. Acesso em: 11/mar/2003.

CRISPEN, B. **Convert Other 3D Formats to VRML**. VRML Works. 2000. Disponível em: <http://vrmworks.crispen.org/convert.html>. Acesso em: 13/10/2003

DARKEN, R. P. **Wayfinding in large-scale virtual worlds**. Washington: The George Washington University, 1995.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. **Java, como programar**. Ed. Bookman, 4ª edição. Porto Alegre/RS, 2003.

GIBSON, S; MIRTICH, B. **A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics**. Technical Report, TR-97-19. Mitsubishi Electric Research Laboratory. Novembro de 1997.

GUAN, C.G.; SERRA, L.; KOCKRO, R.A.; HERN, N.; NOWINSKI, W.L.; CHAN, C. **Volume-based Neurosurgery Planning in the Virtual Workbench**. Virtual Reality Annual International Symposium Proceedings, p. 167-173. IEEE, 1998.

HADLOCK, F. P. et al. **Am. J. Obstet. Roentgenol**. Diagnosis, p. 138-649, 1982.

HADLOCK, F. P. et al. **Resumo sumário das tabelas obstétricas de uso diário**. Diagnosis, p. 152-497, 1984.

HALUCK, R.; WEBSTER, R., SNYDER, A.; MELKONIAN, M.; MOHLER, B.; DISE, M.; LEFEVER, A. **A Virtual Reality Surgical Trainer for navigation in Laparoscopic Surgery**. *Medicine Meets Virtual Reality. Studies in Health Technology and Informatics*, n.81, p.171-176. IOS Press, 2001.

HALUCK R.; WEBSTER, R.; SNYDER, A.; WANG, W. ZIMMERMAN, D.; MOHLER, B.; HUTCHENS, D. **A Haptic Surgical Suturing Simulator**. Online: <http://cs.millersv.edu/haptics/suture.htm>. Acesso em maio de 2000.

HAYES-ROTH, B.; van GENT, R. **Improvisational puppets, actors and avatars**. Stanford: Stanford University. p10. (Report N° KSL 96-09). Relatório técnico, 1996.

HERMOSILLA, L. G.; NUNES, F. L.S.; SEMENTILLE, A. REMO, J. RODELLO, I. **Sistema de Realidade Virtual para geração dinâmica de estruturas de feto**. In: VI Symposium on Virtual Reality. Proceedings. Ribeirão Preto/SP: SVR, p. 420, outubro de 2003.

HERMOSILLA, L. G.; NUNES, F. L. S.; SEMENTILLE, A. REMO, J. RODELLO, I. **A Virtual Reality System for dynamic generation of fetus structures from ultrasound images**. In: Virtual Reality: ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry: Proceedings. Cingapura/Cingapura: VRCAI, junho de 2004a.

HERMOSILLA, L. G.; NUNES, F. L. S. **Modelagem dinâmica tridimensional de fetos utilizando técnicas de Realidade Virtual**. In: III Congresso Latino-Americano de Engenharia Biomédica. Proceedings. João Pessoa/PB: CLAEB, setembro de 2004b.

HUNTER, I.; JONES, L.; SAGAR, M.; LAFONTAINE, S.; HUNTER, P. **Ophthalmic Microsurgical Robot and Associated Virtual Environment**. *Computer in Biology and Medicine*, v. 25, n. 2, pp-173-182, 1995.

JEANTY, P. **Radiology**. *Diagnosis*, p. 174:602, 1983.

KAUFMANN, C.; LIU, A.; BURRIS, D. **DTI Autostereographic Display: Inibal Evaluation**. Medicine Meets Virtual Reality. Studies in Health Technology and Informatics, n. 70, p. 156-158. IOS Press, 2000.

KIRNER, C. **Sistemas de Realidade Virtual**. Apostila do I ciclo de palestras de Realidade Virtual. Universidade Federal de São Carlos, p. 54, out. 1996.

KÜHNAPFEL, U.; ÇAKMAK, H.; MAAB, H. **Endoscopic Surgery Training using Virtual Reality and Deformable Tissue Simulation**. Computers & Graphics, v. 24, p. 671-682, 2000.

LIVINGSTON, M. **Augmented Reality Technology: UNC Laparoscop Visualization Research**, Carolina do Norte, 1998. Disponível em: <<http://www.cs.unc.edu/~us/laparo.html>>. Acesso em: 11/mar/2003.

LUZ, R. W.; HERMOSILLA, L. G.; NUNES, F. L. S.; DELAMARO, M. E.; SEMENTILLE, A; REMO, J.; RODELLO, I. **Aplicação de Técnicas de Realidade Virtual para representação de fetos a partir de imagens bidimensionais de Ultrassom**. In: III Workshop De Informática Médica. Proceedings. Brasília/DF: WIM, maio de 2004.

MACERATINI, R. **Telemedicina: A nova revolução**. Revista Informédica. Campinas, 1994.

MAESTRI, G. **Animação de personagens**. Editora Quark do Brasil, São Paulo/SP, 1996.

NETTO, Antonio Valério; MACHADO, Liliane dos Santos; OLIVEIRA, Maria Cristina F. **Realidade Virtual: Fundamentos e Aplicações**. Ed. Visual Books, 2002.

Parallel Graphics. **Cortona VRML Client**. 2000. Disponível em: www.parallelgraphics.com. Acesso em: abril, 2003.

ROBERTSON, G.; CZERWINSKI, M.; DANTZICH, M. **van Immersion in desktop Virtual Reality: Proceedings**. Redmond: Microsoft Research, 1994.

SABBATINI, R. M. E. **Realidade Virtual em Medicina**: Revista Informédica, 1(1): 5-11. Campinas, 1993.

SCHUTYSER, F.; CLEYNENBREUGEL, J.; SCHOENAERS, J.; MARCHAL, G.; SUETENS, P. **A Simulation Environment for Maxillofacial Surgery Including Soft Tissue Implications**. MICCAI'99 Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, n. 1679, p. 1210-1217. Springer, 1999.

SHANKS, S. OLDS, V. MADRIL, L. **Poser World**. 1999. Disponível em: www.poserworld.com. Acesso em: junho 2003.

STANEK, W. R. **HTML, Java, CGI, VRML, SGML**. Web Publishing. Sams.net Publishing, 1996.

STEINER, H., STAUDACH, A., SPITZER, D. SCHAFFER, H. **Three-dimensional ultrasound inobstetrics and gynaecology: technique, possibilities and limitations**. Hum Reprod. 9(9): 1773-1778, 2002.

SZÉKELY, G. et al. **Virtual Reality Based Surgery Simulation for Endoscopic Gynaecology**. Medicine Meets Virtual Reality. Studies in Health Technology and Informatics n.62, p. 351-357. IOS Press, 1999.

THALMANN, D. et al. **Avatars in Networked Virtual Environments**. Ed. Wiley. New York, 1999.

TEICHRIEB, V. **Avatares como guias interativos para auxílio na navegação em ambientes virtuais tridimensionais**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. nov. 1999.

VERSWEYVELD, L. **Students take virtual trip into the inner ear with networking technology**. Chicago, 1998. Disponível em: <http://www.hoise.com/vmw/articles/LV-VM-09-08-27.htm>. Acesso em 27/fev/2002.

WEBSTER R.; ZIMMERMAN, D.; MOHLER, B.; MELKONIAN, M.; HALUCK, R. **A Prototype Haptic Suturing Simulator. Medicine Meets Virtual Reality**. Studies in Health Technology and Informatics, n. 81, p. 567-569. IOS Press, 2001.

WESTWOOD, J. D.; HOFFMAN, H. M.; STREDNEY, D.; WEGHORST, S. J. **Medicine Meets Virtual Reality – Art, Science, Technology: Healthcare [R]Evolution**. (Ed). Vol. 50, 1998.

YAGEL R.; STREDNEY, D.; WIET, G.; SCHMALBROCK, P.; ROSENBERG, L.; SESSANNA, D.; KURZION, Y. **Building a Virtual Environment Bibliografia – 111 for Endoscopic Sinus Surgery Simulation**. Computers & Graphics, v. 20, n. 6, p. 813-823, 1996.

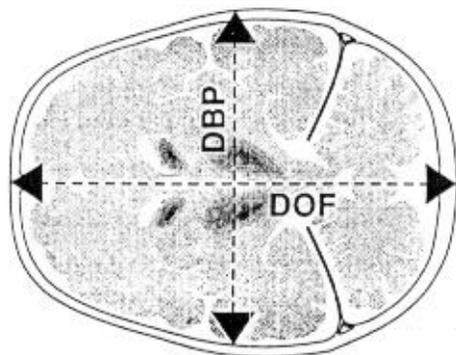
ANEXO A – Resumo sumário das tabelas obstétricas de uso diário. (Fonte: Hadlock, 1984)

IG (meses)	IG (semanas)	DBP (cm)	CC (cm)	CU (cm)	CF (cm)	EST. (cm)	PESO (gramas)	PLACENTA (cm)
3	12	2,0	7,0	0,9	0,9			
	13	2,3	8,9	1,3	1,2			
	14	2,7	9,8	1,6	1,5			
	15	3,0	11,1	1,8	1,9			
	16	3,4	12,4	2,1	2,2			1,0 – 1,8
4	17	3,8	13,7	2,4	2,5			1,2 – 2,0
	18	4,1	15,0	2,7	2,8			1,4 – 2,2
	19	1,5	16,3	2,9	3,1			1,6 – 2,4
	20	1,8	17,5	3,2	3,3	24		1,7 – 2,5
	21	5,1	18,7	3,4	3,6	26		1,9 – 2,7
5	22	5,4	19,9	3,6	3,9	27		2,0 – 2,8
	23	5,8	21,0	3,8	4,1	29		2,1 – 2,9
	24	6,0	22,0	4,1	4,4	31	530 – 1260	2,3 – 3,1
	25	6,3	23,2	4,3	4,6	32	605 – 1305	2,4 – 3,2
	26	6,6	24,2	4,5	4,9	34	685 - 1360	2,5 – 3,3
6	27	6,9	25,2	4,6	5,1	35	770 – 1435	2,6 – 3,4
	28	7,1	26,2	4,8	5,3	37	860 – 1550	2,7 – 3,5
	29	7,4	27,1	5,0	5,6	38	960 – 1690	2,7 – 3,5
	30	7,6	28,0	5,2	5,8	39	1060 – 1840	2,8 – 3,6
	31	7,9	28,9	5,3	6,0	41	1170 - 2030	2,9 – 3,7
7	32	8,1	29,7	5,5	6,2	42	1290 – 2280	3,0 – 3,8
	33	8,3	30,4	5,6	6,4	43	1440 – 2600	3,1 – 3,9
	34	8,5	31,2	5,7	6,5	44	1600 – 2940	3,2 – 4,0
	35	8,7	31,8	5,8	6,7	45	1800 – 3200	3,2 – 4,0
	36	8,9	32,5	6,0	6,9	46	2050 - 3390	3,2- 4,0
8	37	9,1	33,0	6,1	7,1	47	2260 – 3520	3,3- 4,1
	38	9,2	33,6	6,1	7,2	48	2430 – 3640	3,3 – 4,1
	39	9,4	34,1	6,2	7,4	49	2550 – 3735	3,3 – 4,1
	40	9,5	34,5	6,3	7,5	50	2630 - 3815	3,4 – 4,2
CCN (mm)	2,0 3,0 4,0 6,0 9,0 11,0 14,0 18,0 22,0 25,0 30,0 35,0 40,0 45,0 51,0 58,0 65,0							
IG (semana ± 3 dias)	5,0 5,0 6,0 6,5 7,0 7,5 8,0 8,5 9,0 9,5 10,0 10,5 11,0 11,5 12,0 12,5 13,0							

CC: Circunferência Craniana, CCN: Comprimento Cabeça-Nádega; CF: Comprimento do Fêmur;
CU: Comprimento do Úmero; DBP: Diâmetro Biparietal; EST.: Estatura, IG: Idade Gestacional.

ANEXO B - Circunferência Craniana – Valores Normais. (Fonte: Hadlock, 1982)

IDADE GESTACIONAL (semanas)	MÉDIA (cm)	VARIACÃO (cm)
12	7,0	5,1 – 8,9
13	8,9	6,5 – 10,3
14	9,8	7,9 – 11,7
15	11,1	9,2 – 13,0
16	12,4	10,5 – 14,3
17	13,7	11,8 – 15,6
18	15,0	13,1 – 16,9
19	16,3	14,4 – 18,2
20	17,5	15,6 – 19,4
21	18,7	16,8 – 20,6
22	19,9	18,0 – 21,8
23	21,0	19,1 – 22,9
24	22,1	20,2 – 24,0
25	23,2	21,3 – 25,1
26	24,2	22,3 – 26,1
27	25,2	23,3 – 27,1
28	26,2	24,3 – 28,1
29	27,1	25,2- 29,0
30	28,0	26,1 – 29,9
31	28,9	27,0 – 30,8
32	29,7	27,8 – 31,6
33	30,4	28,5 – 32,3
34	31,2	29,3 – 33,1
35	31,8	29,9 – 33,7
36	32,5	30,6 – 34,4
37	33,0	31,1 – 34,9
38	33,6	31,9 – 35,5
39	34,1	32,2 – 36,0
40	34,5	32,6 – 36,4

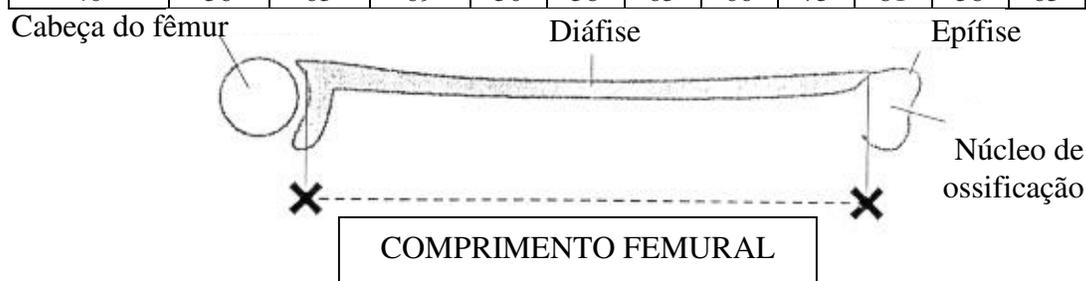


$$CC = (DBP + DOF) * 1,62$$

ANEXO C - Comprimento dos Ossos Longos Fetais Segundo a Idade Gestacional.

(Fonte: Jeanty, 1983)

IG (semanas)	ÚMERO (mm)			ULNA (mm)			FÊMUR (mm)			TÍBIA (mm)		
	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	P ₅	P ₅₀	P ₉₅	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
11	-	6	-	-	5	-	-	6	-	-	4	-
12	3	9	10	-	8	-	-	9	-	-	7	-
13	5	13	20	3	11	18	6	12	19	4	10	17
14	5	16	20	4	13	17	5	15	19	2	13	19
15	11	18	26	10	16	22	11	19	26	5	16	27
16	12	21	25	8	19	24	13	22	24	7	19	25
17	19	24	29	11	21	32	20	25	29	15	22	29
18	18	27	30	13	24	30	19	28	31	14	24	29
19	22	29	36	20	26	32	23	31	38	19	27	35
20	23	32	36	21	29	32	22	33	39	19	29	35
21	28	34	40	25	31	36	27	36	45	24	32	39
22	28	36	40	24	33	37	29	39	44	25	34	39
23	32	38	45	27	35	43	35	41	48	30	36	43
24	31	41	46	29	37	41	34	44	49	28	39	45
25	35	43	51	34	39	44	38	46	54	31	41	50
26	36	45	49	34	41	44	39	49	53	33	43	49
27	42	46	51	37	43	48	45	51	57	39	45	51
28	41	48	52	37	44	48	45	53	57	38	47	52
29	44	50	56	40	46	51	49	56	62	40	49	57
30	44	52	56	38	47	54	49	58	62	41	51	56
31	47	53	59	39	49	59	53	60	67	46	52	58
32	47	55	59	40	50	58	53	62	67	46	54	59
33	50	56	62	43	52	60	56	64	71	49	56	62
34	50	57	62	44	53	59	57	65	70	47	57	64
35	52	58	65	47	54	61	61	67	73	48	59	69
36	53	60	63	47	55	61	61	69	74	49	60	68
37	57	61	64	49	56	62	64	71	77	52	61	71
38	55	61	66	48	57	63	62	72	79	54	62	69
39	56	62	69	49	57	66	64	74	83	58	64	69
40	56	63	69	50	58	65	66	75	81	58	65	69



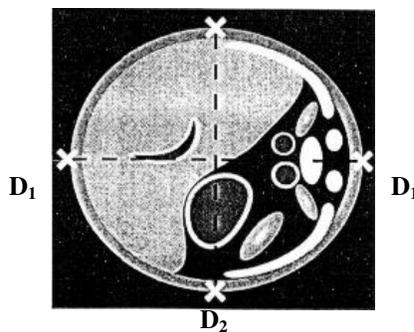
ANEXO D - Circunferência Abdominal Fetal em Função da idade Gestacional.

(Fonte: Hadlock, 1984)

IG (semanas)	CIRCUNFERÊNCIA ABDOMINAL		
	(cm)		
	P ₁₀	P ₅₀	P ₉₀
14	6,7	7,3	7,9
15	7,9	8,6	9,3
16	9,1	9,9	10,7
17	10,3	11,2	12,1
18	11,5	12,5	13,5
19	12,6	13,7	14,8
20	13,8	15,0	16,3
21	14,9	16,2	17,6
22	16,0	17,4	18,8
23	17,0	18,5	20,0
24	18,1	19,7	21,3
25	19,1	20,8	22,5
26	20,1	21,9	23,7
27	21,1	23,0	24,9
28	22,0	24,0	26,0
29	23,0	25,1	27,2
30	23,9	26,1	28,3
31	24,9	27,1	29,4
32	25,8	28,1	30,4
33	26,7	29,1	31,5
34	27,5	30,0	32,5
35	28,3	30,9	33,5
36	29,2	31,8	34,4
37	30,0	32,7	35,4
38	30,8	33,6	36,4
39	31,6	34,4	37,3
40	32,4	35,3	38,2

D₂

$$CA = \frac{(D_1 + D_2) \cdot \pi}{2}$$



$$CA = (D_1 + D_2) \times 1,57$$