

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE INFORMÁTICA

PARA:

JEFFERSON ARAÚJO BENES

RAFAEL PEDRO BUENO

DE:

MÁRCIO SEROLLI PINHO

AMBIENTE VIRTUAL PARA
PLANEJAMENTO DE HEPATECTOMIA

PORTO ALEGRE

2003

JEFFERSON ARAÚJO BENES

RAFAEL PEDRO BUENO

AMBIENTE VIRTUAL PARA
PLANEJAMENTO DE HEPATECTOMIA

Trabalho de Conclusão de Curso I, Faculdade
de Informática, Pontifícia Universidade
Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Márcio Serolli Pinho

PORTO ALEGRE

2003

Agradecimentos

Agradecemos a colaboração do Prof. Márcio Serolli Pinho pela paciência, orientação e dedicação. Da mesma forma, agradecemos ao Cirurgião Dinamar José Zanchet, por ter sido um grande apoiador, embaixador teórico na área de cirurgia hepática e motivador deste trabalho.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo auxiliar cirurgiões especialistas no planejamento de hepatectomias.

Este propõe o desenvolvimento de um Ambiente Virtual para o auxílio do planejamento de uma hepatectomia. São descritas algumas das técnicas utilizadas na medicina atual para que seja efetuado o planejamento da cirurgia hepática, bem como as dificuldades que as mesmas apresentam. É mostrado sucintamente a metodologia de aquisição de imagens médicas e a geração de um modelo virtual de um fígado, a partir dessas.

Apresenta-se também a Computação Gráfica como uma ferramenta de auxílio à medicina em áreas como ensino e tratamento de fobias.

O *software* proposto deverá ser desenvolvido utilizando técnicas de Computação Gráfica combinadas com Realidade Virtual, para que a interface homem-máquina seja intuitiva. Exibirá a projeção de um fígado virtual, baseado nos dados de um paciente real, bem como um plano de corte, controlado pelo usuário, auxiliando o planejamento do local de secção em uma cirurgia hepática. A interface homem-máquina será projetada de modo que um cirurgião não necessite conhecer a fundo a informática para que possa utilizar esta ferramenta.

Palavras-chave: planejamento de cirurgia, hepatectomia, cirurgia hepática, computação gráfica, realidade virtual, fígado, ferramentas de software.

Abstract

The main objective of this work is to help surgery specialists in hepatectomy planning.

This work proposes the development of a Virtual Environment to help the planning of a hepatectomy surgery. Some techniques of the modern medicine used to plan a hepatic surgery are described, as well as the difficulties involved in the process. The medical image acquisition methods and the generation of the virtual model of a human liver techniques are briefly explained.

Computer graphics is presented as a useful tool to help medicine in areas such as phobia treatments and teaching.

The software will be developed using computer graphics and virtual reality techniques combined, in order to have an intuitive human-machine interface. It will show the virtual liver, based on data from a real patient, as well as a cutting plane, controlled by the user, helping to look for the adequate place to make the section. The human-machine interface will be designed in a way the surgeon does not need to be a computer expert.

Keywords: surgery planning, hepatectomy, hepatic surgery, computer graphics, virtual reality, liver, software applications.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – <i>VOXEL-MAN 3D-Navigator: Inner Organs</i> com dados do projeto <i>Visible Human</i>	13
Figura 2.2 – <i>iVoxel Browser</i> – Visualização ampliada do brônquio direito a partir de uma seleção no corte sagital	14
Figura 2.3 – <i>PSC Volume Browser</i> – Visão sagital e estrutura <i>wireframe</i>	14
Figura 2.4 - <i>Atlas of the Visible Human Male Cross-Sectional Anatomy Tutor</i>	15
Figura 2.5 - Cortes sagital, transversal e coronal de uma região torácica selecionada pelo usuário no <i>FlashBack Imaging Visible Human Explorer</i>	16
Figura 2.6 - Karlsruhe Endoscopic Virtual Surgery Trainer	17
Figura 3.1 – Anatomia do fígado humano	20
Figura 3.2 – Veia porta e suas ramificações, artéria hepática e suas ramificações e canal hepático	20
Figura 5.1 – Fluxograma das principais partes da geração de imagens tridimensionais a partir de órgãos reais [VIS 03b]	30
Figura 5.2 – Imagem original (esq.) e imagem segmentada (dir.) [VIS 03b]	30
Figura 5.3 – Fluxograma de métodos de renderização de imagens médicas	32
Figura 5.4 – Pilha de planos de voxels	33
Figura 5.5 – Malha de polígonos gerada pelos cubos marchantes [VIS 03b]	33
Figura 5.6 – Malha de polígonos suavizada	34
Figura 5.7 – Malha de polígonos após os processos de suavização e decimação	35
Figura 5.8 – Raio de luz sendo projetado sobre um plano de visualização após atravessar um conjunto de voxels	36
Figura 5.9 – Exemplo de figura gerada pela técnica de <i>Ray Casting</i>	37
Figura 5.10 – Diagrama de <i>Splatting</i>	38
Figura 5.11 – Exemplo de <i>splatting</i>	38

Figura 6.1 – Faces superior e inferior de um objeto e projeções verticais das arestas da face superior sobre a face inferior	40
Figura 6.2 – (a) Projeção da face superior sobre o plano XZ (volume positivo) e (b) projeção da face inferior sobre o plano XZ (volume negativo)	41
Figura 6.3 – Sobreposição dos volumes positivos e negativos.....	41
Figura 6.4 – Objeto e linha de secção	42
Figura 6.5 – Polígonos abertos gerados a partir da linha de corte.....	43
Figura 6.6 – Objetos finais separados pela linha de corte.....	43

Sumário

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	5
Lista de ilustrações.....	6
Sumário	8
1. Introdução	10
2. Aplicações da Realidade Virtual na Medicina	12
2.1 Ensino e treinamento	12
2.2 Tratamento de fobias	17
3. Cirurgia Hepática	19
3.1 Anatomia do fígado	19
3.2 Hepatectomia.....	20
3.3 A necessidade de uma hepatectomia	21
3.4 Planejamento de uma hepatectomia	22
3.5 Análise dos problemas envolvidos no planejamento.....	24
3.6 Possibilidades de uso da Computação Gráfica e Realidade Virtual no planejamento de hepatectomia	24
4. Proposta de Sistema de Auxílio ao Planejamento de Hepatectomia	26
4.1 Funcionalidades do sistema	26
5. Obtenção dos dados médicos	29
5.1 Obtenção das imagens originais.....	29
5.2 Segmentação da imagem	30
5.3 Geração da superfície do objeto.....	32
5.4 Ajustes sobre a superfície gerada	34

5.5	Renderização de volumes	35
5.5.1	Ray Casting	35
6.	Problemas da implementação.....	39
6.1	Cálculo do Volume.....	39
6.2	Divisão do fígado virtual	42
	Cronograma	45
	Referências	46

1. Introdução

A medicina moderna está num estágio de desenvolvimento no qual é capaz de resolver muitos problemas, que em outras épocas poderiam levar seres humanos à morte.

Novas drogas são desenvolvidas diariamente, novos tratamentos, metodologias e técnicas, no entanto ainda não é possível solucionar-se todos os problemas existentes. Por exemplo, na área de transplantes, não basta somente possuir técnicas aprimoradas, pois torna-se igualmente necessário que haja doadores disponíveis bem como compatíveis com o receptor. Além disso, estas cirurgias são feitas de modos menos traumáticos para o paciente.

Um exemplo de cirurgia que tem sido aprimorada é a hepatectomia (cirurgia do fígado). Nos primórdios, utilizava-se um fígado de doador cadavérico compatível o qual era transplantado para um paciente que estivesse à espera. Com o passar do tempo verificou-se ser possível aproveitar um fígado adulto de um doador morto para até dois pacientes pediátricos ou uma criança e um adulto pequeno. O atual estágio de desenvolvimento dos transplantes de fígado permite que seja transplantado parte de um fígado de um doador vivo para um paciente em espera, chamado de transplante inter-vivos.

Assim como a medicina, a informática vem se desenvolvendo através dos anos e alcançando novos níveis tecnológicos. O computador torna-se uma ferramenta cada vez mais útil, para não dizer imprescindível em alguns casos, no auxílio de tarefas do dia-a-dia. Provou ser, ao longo de sua história, uma ferramenta de grande valor. É capaz de realizar tarefas antes impensáveis de serem feitas em tempo hábil e com precisão, por causa da demora e da complexidade inerentes à tarefa.

Dentro os avanços obtidos na informática, a Computação Gráfica contribui hoje com programas que auxiliam desde o planejamento de peças mecânicas até o lazer, área onde é mais largamente conhecida por causa dos jogos eletrônicos. Uma importante área da Computação Gráfica é a Realidade Virtual. Esta, por sua vez, é uma técnica que tem como princípio a inserção do usuário em um ambiente virtual gerado por computador no qual o mesmo pode interagir com seus objetos de forma mais intuitiva e natural, obtendo respostas do ambiente à medida que o utiliza.

Atualmente a Realidade Virtual tem aplicações em várias áreas do conhecimento humano, entre elas a medicina, atuando em campos como o ensino e o tratamento de fobias.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em Computação Gráfica, que utilizará técnicas de Realidade Virtual, para o auxílio do planejamento de cirurgias hepáticas.

O *software* gerado será capaz de mostrar ao usuário, um ambiente virtual onde poderá interagir com os objetos dispostos utilizando dispositivos característicos de sistemas de realidade virtual como rastreadores de movimento (*trackers*) e óculos para visualização estereográfica (*shutter glasses*). O cirurgião poderá executar o planejamento, utilizando um fígado virtual bem como um plano de secção virtual, os quais conseguirá manipular independentemente. Por fim, será dado como resultado ao cirurgião o volume resultante de uma determinada secção escolhida por ele mesmo, assim como a exibição das partes seccionadas do fígado.

Espera-se com isso que este trabalho consiga auxiliar no planejamento de hepatectomias, tornando a tarefa dos cirurgiões menos complexa.

2. Aplicações da Realidade Virtual na Medicina

Atualmente, a Realidade Virtual tem várias aplicações na medicina. Nas seções a seguir apresentam-se as áreas de aplicação mais comuns.

2.1 Ensino e treinamento

Entre as áreas mais desenvolvidas hoje em dia está a de ensino e treinamento usando Realidade Virtual, porque busca diminuir custos e aumentar o aprendizado sem perder na qualidade da matéria em questão. Dentro deste segmento, ainda podemos dividir em outros subgrupos como ensino de anatomia, simulação de anestesia e simulação de cirurgia.

Estes itens são direcionados para aprendizes de medicina, ou até mesmo para profissionais que buscam especialização ou aperfeiçoamento em determinada área. Também são utilizados por professores em aulas expositivas, com os equipamentos adequados de Realidade Virtual.

O projeto mais significativo nesta área é o *Visible Human*, desenvolvido pela *National Library of Medicine* dos EUA [VIS 03a]. Este projeto consiste em um banco de dados (imagens) de um corpo humano “fatiado” milimetricamente e digitalizado em alta resolução.

A partir dessas imagens, surgiram diversas ferramentas, entre elas a família de produtos *VOXEL-MAN 3D-Navigator* [VOX 03]. *O VOXEL MAN 3D-Navigator: Inner organs*, por exemplo, possibilita visualização 3D de aproximadamente 650 órgãos ou tecidos, em sua maioria pertencentes ao tórax e abdômen, incluindo nervos e sistema cardiovascular. Possui também a possibilidade de exibir imagens estereoscópicas de alguns componentes do corpo humano, dando uma idéia melhor da profundidade da imagem. Na figura 2.1, apresenta-se um exemplo de imagem gerada pelo *VOXEL MAN 3D-Navigator: Inner organs*.

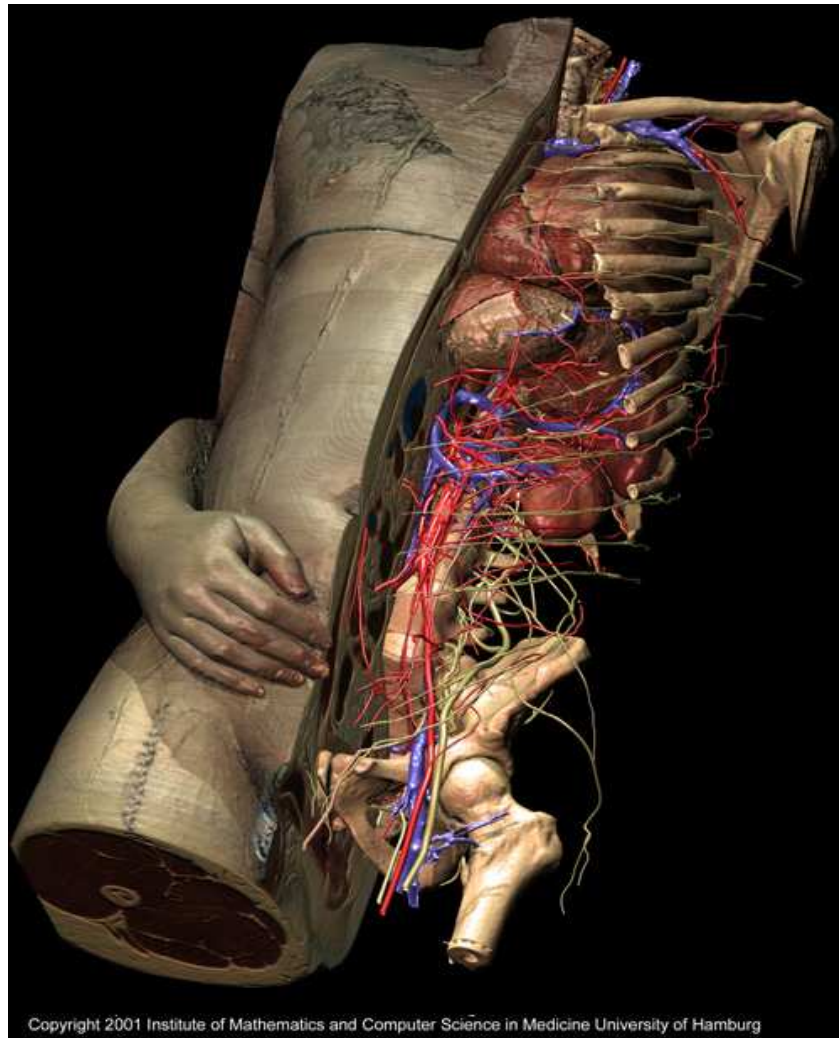


Figura 2.1 – VOXEL-MAN 3D-Navigator: *Inner Organs* com dados do projeto *Visible Human*

O *iVoxel Browser* [IVO 03] é um navegador baseado na linguagem Java, desenvolvido na Universidade de Michigan para poder exibir imagens do projeto *Visible Human*. Ele pode mostrar os dados em voxels, modelos de faces, anotações, relacionamentos entre os sistemas do corpo humano e fazer renderização de volumes. Este visualizador é capaz de gerar imagens e modelos em estereografia, para visualização em três dimensões. Na figura 2.2, pode-se visualizar uma seleção do corte sagital em detalhe, gerada pelo *iVoxel Browser*.



Figura 2.2 – *iVoxel Browser* – Visualização ampliada do brônquio direito a partir de uma seleção no corte sagital

O *PSC Volume Browser (Pittsburgh Super Computing Center Volume Browser)* [PSC 03] foi originalmente desenvolvido como uma ferramenta para fazer a segmentação de estruturas do projeto *Visible Human*. Esta aplicação é agora utilizada no *curriculum* da Escola Médica da Universidade de Michigan. O navegador mostra fatias, modelos e faz a segmentação das imagens do projeto *Visible Human*, além de exibir estes modelos gerados em *wireframe*. A figura 2.3 mostra o sistema exibindo um corte sagital e uma visualização em *wireframe* do abdômen. Para facilitar a navegação, é possível salvar atalhos para várias estruturas do corpo. O programa roda em *Windows*, *Mac Os X*, *Linux* e em *Unix*.

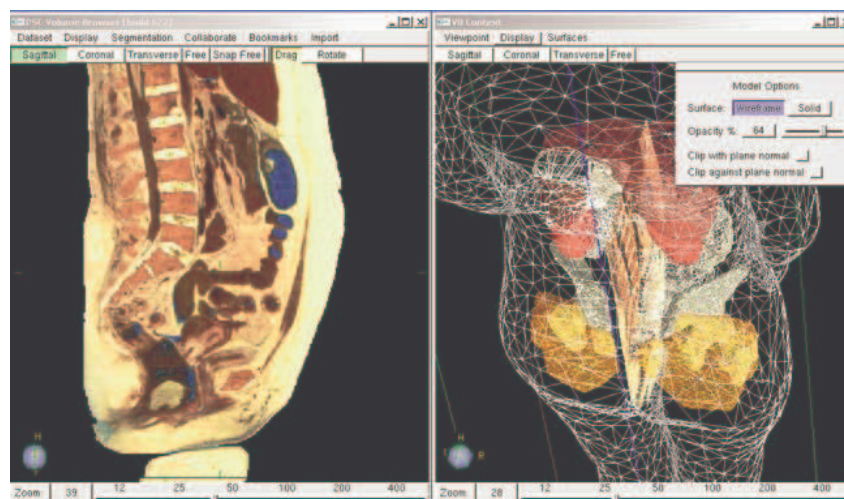


Figura 2.3 – *PSC Volume Browser* – Visão sagital e estrutura *wireframe*.

O *Atlas of the Visible Human Male Cross-Sectional Anatomy Tutor* [ATL 03] é um curso interativo de anatomia. Ele possui um catálogo de aproximadamente 3.000 figuras em

alta definição em três diferentes visões, como pode ser observado na figura 2.4. Este Atlas é um guia de referência para profissionais, estudantes e qualquer outra pessoa interessada em estudar o corpo humano.



Figura 2.4 - Atlas of the Visible Human Male Cross-Sectional Anatomy Tutor

O *FlashBack Imaging Visible Human Explorer* [FLA 03], é outro visualizador de imagens do baseado no projeto *Visible Man*. O CD-ROM contém 1.000 imagens do *Visible Man*, 1.500 estruturas anatômicas organizadas por nome em mais de 3.000 modos de indexação. Nomes de estruturas podem ser fácil e interativamente extraídos das imagens enquanto o usuário movimentava o mouse sobre as figuras na tela. Possui também um modo para a prática e teste de conhecimentos, na qual o usuário é que deve dizer o nome da estrutura apontada. O CD-ROM foi desenvolvido para o ambiente Windows 95/98 e não requer instalação. A figura 2.5 mostra uma tela do *software* apresentando os cortes sagital, transversal e coronal de uma região torácica selecionada pelo usuário.

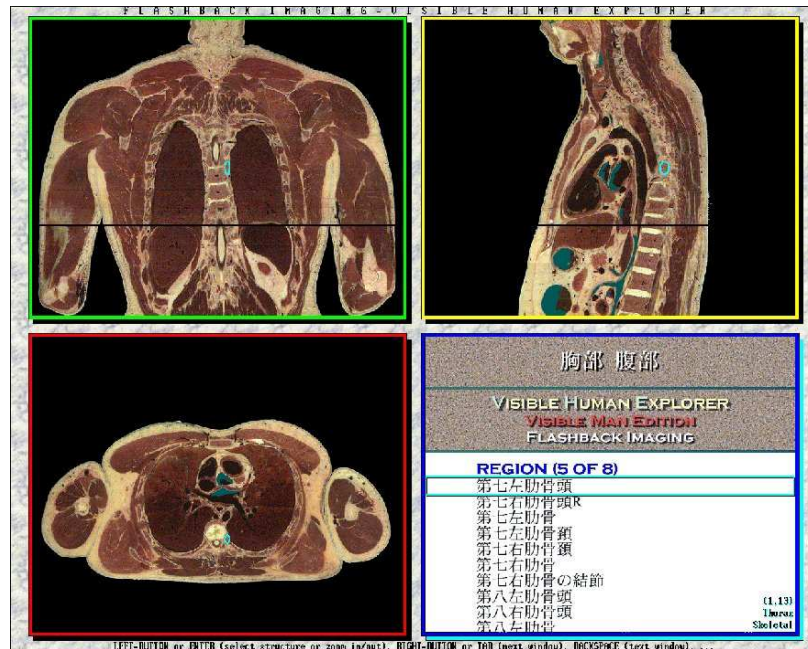


Figura 2.5 - Cortes sagital, transversal e coronal de uma região torácica selecionada pelo usuário no *FlashBack Imaging Visible Human Explorer*

Em simulação e treinamento de cirurgia, pode-se destacar a Cirurgia Minimamente Invasiva, também conhecida como cirurgia endoscópica. Esta técnica refere-se a um conjunto de procedimentos cirúrgicos que atingem os mesmos resultados que operações tradicionais, porém realizados através de incisões muito menores. Através dessas incisões são passados apenas instrumentos como o endoscópio (pequena câmera) que permitem ao cirurgião enxergar através de um monitor de vídeo o interior do paciente. Também são introduzidos por essas incisões, da mesma forma que o endoscópio, os instrumentos próprios para a cirurgia em si.

Este tipo de cirurgia, comparado com a cirurgia tradicional, proporciona vantagens aos pacientes, como menor perda de sangue (e por conseqüência menor necessidade de haver transfusão sangüínea), menos dor, curto estágio de internação no hospital, recuperação mais rápida e menores cicatrizes. Também foi notado que esses fatores resultam em menos infecções pós-operatório, menos complicações e melhores resultados a longo prazo [CHI 03].

Nesta área, a Computação Gráfica aliada a Realidade Virtual, dão ao cirurgião experimentado condições de ensinar novos cirurgiões diminuindo a necessidade de utilizar tecidos humanos reais, ou seja, corpos de verdade para experimentos e treinamento. Dispositivos de Realidade Virtual com *force feedback* dão ao cirurgião uma simulação mais realística de uma Cirurgia Minimamente Invasiva, desde a visão interna tridimensional do

corpo de um paciente virtual até os instrumentos cirúrgicos, parte virtuais, parte simuladores reais (dispositivos físicos). Um exemplo de equipamento usado em um treinamento para uma Cirurgia Minimamente Invasiva, pode ser visto na figura 2.6 [KUH 03].



Figura 2.6 - Karlsruhe Endoscopic Virtual Surgery Trainer

2.2 Tratamento de fobias

No tratamento de fobias, a terapia de exposição é uma técnica que procura colocar o paciente gradualmente em contato com a situação que lhe causa pavor. Normalmente, pede-se ao paciente para que ele imagine uma situação ou então se expõe o doente a um ambiente real controlado, com o fator que desencadeia sua fobia. Por exemplo, no caso de acrofobia (medo de altura), levar-se-ia o paciente primeiramente à janela do terceiro andar de um prédio e mais tarde a um passeio em um elevador panorâmico de um prédio com mais andares.

Neste caso, a Realidade Virtual vem a ser uma ferramenta de auxílio, pois pode gerar (simular) situações que causem ansiedade no paciente. Além disso, as características do mundo virtual podem ser reguladas para causar mais ou menos ansiedade, causando medo na medida necessária para que o doente consiga se habituar com a situação e atenuar sua fobia. Como a imersão propiciada é um dos fatores chave para esse tratamento, normalmente são usados dispositivos como *HMDs* e em alguns casos, para aumentar o grau de realidade, são usados dispositivos de geração de tato.

Para alguns tipos de fobia, o tratamento de exposição usando Realidade Virtual imersiva possui vantagens como menor custo, maior aceitação do paciente, além de ser um tratamento efetivo que promove bons resultados.

3. Cirurgia Hepática

Este capítulo tem por objetivo fornecer um embasamento teórico mínimo ao tema de cirurgia hepática. Inicia-se apresentando a anatomia do fígado e o conceito de hepatectomia, passando-se a seguir aos aspectos relativos ao planejamento desta cirurgia e os problemas envolvidos nesta atividade. Por fim, introduz-se as possibilidades de atuação da Computação Gráfica e da Realidade Virtual no escopo do planejamento de uma cirurgia hepática.

3.1 Anatomia do fígado

Para uma melhor compreensão deste trabalho é necessário que haja um conhecimento prévio da função do fígado no organismo humano, além de alguns aspectos básicos de sua anatomia.

O fígado humano (figura 3.1) é um órgão essencial para manutenção da vida. Participa de múltiplas funções destacando-se o controle da produção de energia através do metabolismo e armazenamento de vitaminas, carboidratos, proteínas e lipídeos.

Também participa na metabolização e excreção de compostos exógenos (que provém de fora do corpo) e endógenos (produzidos dentro do corpo) circulantes, como pigmento biliar, drogas e esteróides. Além disso, desempenha papel importante na defesa imunológica e como reservatório de sangue.

O fígado é a maior víscera do organismo e tem alta capacidade de recuperação de tecidos. Localiza-se predominantemente no quadrante superior direito do abdome. Superiormente, relaciona-se com o diafragma e a cavidade torácica; e inferiormente com o estômago, duodeno e cólons. Tem duplo suprimento sanguíneo: O sangue arterial, rico em oxigênio, é proveniente da artéria hepática; já o sangue venoso, que leva todo o sangue dos intestinos e do baço é proveniente da veia porta (figura 3.2). É dividido em lobo direito e lobo esquerdo, segundo parâmetros anatômicos. Sua divisão funcional, que não corresponde à anatômica, é baseada na ramificação dos vasos sanguíneos que irrigam o fígado e no sistema de ductos biliares, que são responsáveis pelo transporte da secreção hepática (bile) para o intestino [MED 03].

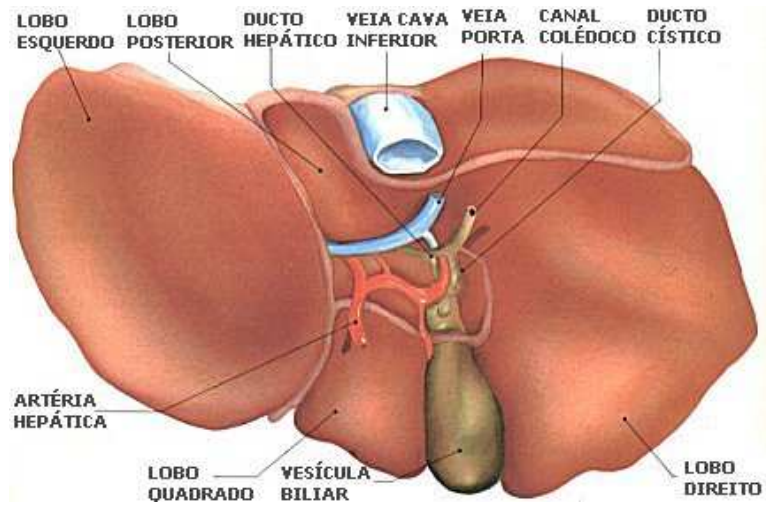


Figura 3.1 – Anatomia do fígado humano.

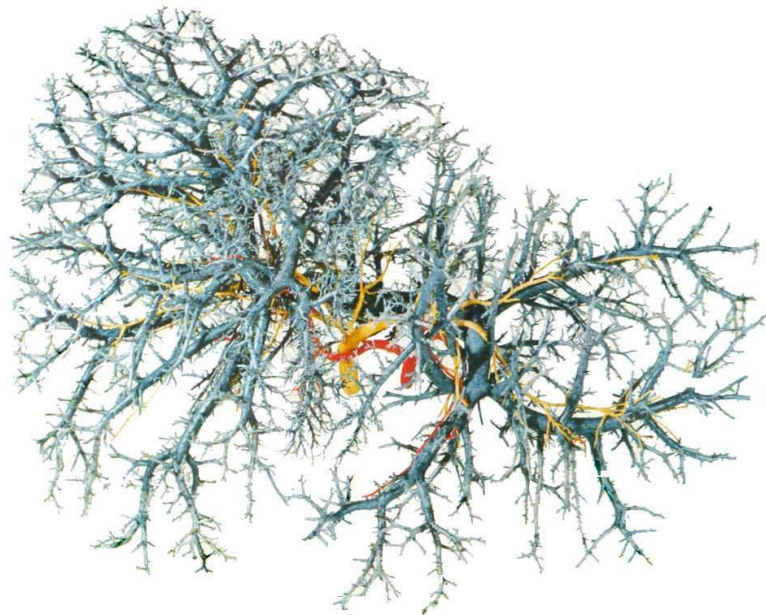


Figura 3.2 – Veia porta e suas ramificações, artéria hepática e suas ramificações e canal hepático.

3.2 Hepatectomia

A hepatectomia regradada (ressecção anatômica de fígado) é um procedimento realizado para o tratamento de pacientes com tumores no fígado e em doadores e receptores de transplantes intervivos [COU 86; BIS 82].

Essas hepatectomias são representadas pelas ressecções do segmento lateral esquerdo, dos lobos hepáticos direito e esquerdo, isolados ou associadamente com a ressecção dos segmentos do lobo remanescente. Constituem um procedimento de risco e devem ser realizados somente por um cirurgião experimentado. O termo “regrada” significa que todos os elementos vasculares aferentes (aqueles que entram no fígado: artéria hepática e veia porta) e eferentes (aqueles que saem do fígado: veias hepáticas), e o ramo biliar correspondente, sejam dissecados, isolados e seccionados antes de se proceder à etapa fundamental, que é a exeresé (remoção) dos segmentos ou lobos [MIE 94].

As variações na distribuição das estruturas internas e nos volumes dos lóbulos do fígado fazem com que uma avaliação precisa dessa anatomia e desses volumes seja essencial para o planejamento das hepatectomias [LEE 94; KAW 93]. Essa avaliação contribui na prevenção da insuficiência hepática pós-operatória, principalmente em doenças com comprometimento bilobar ou no transplante intervivos do adulto, quando o volume a ser ressecado é grande [KAM 01].

3.3 A necessidade de uma hepatectomia

Como a maioria dos transplantes, o transplante de fígado sofre com a diferença entre o número de pessoas na lista de espera e o número de doadores cadavéricos existentes. Após o advento dos transplantes parciais, a fila de espera diminuiu um pouco, mas não o suficiente. Esse tipo de transplante surgiu com o objetivo de adaptar o tamanho do fígado adulto para receptores infantis (que normalmente ficam mais tempo à espera de um fígado compatível) e em seguida começou a ser utilizado para dividir um órgão adulto de um doador morto para dois receptores, sendo o primeiro uma criança e o segundo um adolescente ou um adulto pequeno. Ainda tendo como problema principal a escassez de doadores mortos, os cirurgiões começaram a praticar este tipo de transplante com doadores vivos, onde se retira parte do fígado deste doador, mantendo ainda um volume que não cause insuficiência do órgão.

O transplante de fígado com doador vivo é um procedimento que tem sido usado com segurança na população pediátrica. O sucesso deste procedimento despertou interesse em aplicá-lo em receptores adultos.

Quando se aplica a uma criança, é usado o segmento lateral esquerdo ou o lobo esquerdo do fígado de um adulto. No entanto, para um receptor adulto, os enxertos obtidos do

22

lobo esquerdo não são suficientes para sustentar uma função adequada do fígado. Por sua vez os enxertos do lobo direito, por serem normalmente maiores que os do lobo esquerdo, conseguem sustentar uma boa função hepática por suprirem massa hepática suficiente a um receptor adulto. Por este motivo são utilizados em receptores adultos os enxertos do lobo direito.

No entanto, em um procedimento de extração do lobo direito, deve-se ter cautela para que não seja afetado o suprimento vascular ou a função metabólica do lobo esquerdo remanescente (no doador). A falência aguda do fígado por um tecido hepático residual inadequado é uma complicação séria e limitadora da hepatectomia direita que também ocorre nas hepatectomias realizadas para tratamento de tumores que exigem ressecções grandes.

Foi estimado que um volume do fígado residual pós-operatório de 35% com boa função está associado com um baixo risco de falência do fígado em um paciente sadio. [ZAN 02] Entretanto, em um paciente com a função hepática prejudicada, ressecções menores também podem ser perigosas. No paciente no qual pretende-se realizar uma ressecção do fígado, é útil combinar uma avaliação funcional com uma estimativa de volume do fígado.

3.4 Planejamento de uma hepatectomia

As hepatectomias são cirurgias de grande porte e tecnicamente consideradas de alto grau de dificuldade por vários motivos. As normas de conduta pré-operatória pedem que sejam realizados alguns exames básicos, como RX de tórax (para avaliar a área cardíaca e possíveis alterações pulmonares), eletrocardiograma (para avaliar a condução elétrica do coração e se necessário avaliação de risco cirúrgico pelo cardiologista e anestesista), dosagens no sangue (hemograma completo, glicemia, uréia, creatinina, potássio e sódio) e um coagulograma.

Além dos exames acima, que em geral são realizados para qualquer cirurgia, no caso da cirurgia hepática é necessário que sejam realizado exames de sangue provas de função hepática - Bilirrubinas, Transaminases, Fosfatases, Fibrinogênio e outros fatores de coagulação (XII ao todo) dependendo da doença.

Até este ponto pode-se dizer que foi feita a avaliação funcional geral e hepática.

Deve-se então fazer a avaliação do fígado em si. É necessário saber qual doença está levando o paciente à operação. Isso é determinado pelas provas funcionais, a partir de imagens (geradas por ultrassom, tomografia ou ressonância) e através de biópsia (patologia).

A indicação operatória mais freqüente se dá pelos tumores. Porém, alterações funcionais determinadas por doenças genéticas (atresias) ou inflamatórias (hepatites-cirrose), podem gerar a necessidade de um transplante, que normalmente envolve uma hepatectomia total ou parcial do receptor e uma hepatectomia total no doador cadáver (que pode ser dividido – “*split liver*”) ou parcial no doador vivo.

Quando se trata de tumores precisa-se avaliar qual a extensão e em que local esse tumor se encontra. É possível ressecar-se até 70% do volume total do fígado, quando o restante for sadio. Porém, caso o fígado seja doente, o volume a ser ressecado depende da idade do paciente, da doença envolvida e se há alguma comorbidade, ou seja, outra doença como diabetes ou cardiopatia, por exemplo. Assim sendo, o volume máximo removível envolve variáveis inerentes ao indivíduo, podendo 30% a 50% de fígado ressecado ser suficiente para desencadear uma insuficiência hepática no pós-operatório.

Nesse momento então se tem a avaliação anatômica e patológica do fígado e da doença e é possível planejar a hepatectomia.

Uma hepatectomia depende basicamente de uma boa avaliação do volume do órgão de acordo com uma correta interpretação das planigrafias (imagens bidimensionais geradas por Tomografia Computadorizada que representam fatias do órgão), permitindo ao médico experimentado estabelecer uma relação entre o fígado representado nas planigrafias e a anatomia do paciente, avaliando a área afetada por uma doença ou a região a ser transplantada. O planejamento se dá a partir da reconstrução mental que o cirurgião faz do fígado do paciente e de seu conhecimento que o leva a estabelecer qual seria a melhor região a ser ressecada, mantendo boa função hepática para evitar uma posterior falência ou insuficiência do órgão.

Também depende intrinsecamente do histórico de doenças do paciente. Por exemplo, no caso de uma pessoa com cirrose hepática ou hepatite, o médico deve efetuar a avaliação levando em conta que parte de sua função está comprometida. Tratando-se de uma inflamação, as planigrafias não mostram o órgão em seu tamanho normal, porém aumentado por causa de uma inflamação. Como devem ser considerados nessa etapa todos os aspectos das diferentes doenças e do paciente, o planejamento de uma hepatectomia deve ser

cuidadosamente desenvolvido por um cirurgião bem treinado, com prática na interpretação correta das planigrafias.

3.5 Análise dos problemas envolvidos no planejamento

Ainda hoje, a avaliação do volume estimado do fígado, depende largamente de fórmulas baseadas no peso do paciente e da experiência do cirurgião na interpretação das planigrafias. Para que o futuro cirurgião adquira experiência suficiente para conseguir fazer uma avaliação do volume do fígado com razoável precisão, o tempo necessário estimado é de aproximadamente três anos de residência médica. Após este período, a interpretação das imagens leva o cirurgião a reconstruir mentalmente o órgão afetado e a sua relação volumétrica com a anatomia real do paciente.

Em face de que a técnica de cálculo do volume do fígado baseada no peso do paciente possui uma margem de erro consideravelmente grande, surge um problema grave que pode levar o cirurgião a tomar decisões equivocadas sobre a quantidade de tecido a ser ressecado e, por conseqüência, o volume de fígado restante. O cirurgião precisa ter uma avaliação da função hepática, bem como uma correta avaliação do volume do fígado, precisas o suficiente para poder realizar uma hepatectomia, evitando assim a falência pós-operatória do órgão ou a sua insuficiência.

Existem atualmente no mercado aparelhos de alta tecnologia que conseguem gerar imagens volumétricas diretamente, porém seu custo ainda é muito alto e muitas vezes não é possível ter acesso a um aparelho desses, senão em hospitais localizados em grandes centros urbanos, em sua maioria no exterior. Esses aparelhos auxiliam o médico na tarefa de visualizar o órgão doente a construir uma relação com a anatomia do paciente sem depender de sua própria experiência.

3.6 Possibilidades de uso da Computação Gráfica e Realidade Virtual no planejamento de hepatectomia

De forma sucinta, a Computação Gráfica é uma ferramenta poderosa que pode realizar o trabalho de reconstruir o objeto real a partir das mesmas imagens a que tem acesso um cirurgião. As imagens das tomografias, quando reconstruídas tridimensionalmente com o auxílio da Computação Gráfica utilizando semitransparência, correlacionam mais facilmente a

anatomia do parênquima (células hepáticas e tecido conjuntivo em torno das estruturas internas) do fígado com suas estruturas internas (Veia Porta, Veias Hepáticas, Via Biliar e Artéria Hepática) [ZAN 02]. Além disso, facilitam o planejamento do ato operatório, permitindo a visualização do órgão e suas estruturas como um todo, poupando o tempo gasto na interpretação das planimetrias. Outro aspecto positivo do uso da Computação Gráfica neste caso em especial, é que um ou mais cirurgiões podem visualizar em detalhe o órgão, facilitando desta forma a troca de idéias sobre, por exemplo, qual seria a melhor ressecção a ser efetuada, além de possibilitar o estudo sobre um único modelo gerado, reduzindo espaço para interpretações dúbias a partir de modelos mentais diferentes.

A partir do modelo virtual do fígado, é possível fazer o cálculo do seu volume, anteriormente realizado, pelos cirurgiões, através de estimativas baseadas em medidas corpóreas do paciente. Este método obtém uma maior precisão com menor margem de erro, por trabalhar com dados mais precisos, que são as planimetrias dos pacientes.

Os dispositivos utilizados em Realidade Virtual dão ao cirurgião a possibilidade de interagir diretamente com o fígado virtual entre outros objetos dispostos num ambiente de simulação. Através de rastreadores de movimento, o cirurgião pode realizar movimentos naturais e intuitivos, como a rotação do fígado, como se o estivesse segurando-o em sua mão diminuindo assim a necessidade de usar outros dispositivos, não tão naturais, como teclado ou mouse.

A Computação Gráfica permite também ao cirurgião visualizar previamente o resultado de vários possíveis cortes feitos sobre o órgão virtual, realizando-se cada qual individualmente. Uma vez estabelecido o local de secção, permite mostrar ao cirurgião como ficaria a parte seccionada e a parte restante, destacadas uma da outra.

Uma simulação destas jamais poderia ser feita em um órgão real, pois após algumas secções seria inutilizado não podendo mais ser reaproveitado. Desta forma, o uso da Computação Gráfica pode tornar o processo de simulação e aprendizado de cirurgia hepática menos custoso, em termos financeiros e temporais, pois órgãos reais são de difícil acesso e por consequência, de custo elevado.

4. Proposta de Sistema de Auxílio ao Planejamento de Hepatectomia

Este projeto de curso tem por objetivo o desenvolvimento de um ambiente em Realidade Virtual que pretende auxiliar no planejamento de hepatectomias fazendo a simulação de cortes a serem realizados sobre o órgão durante o procedimento cirúrgico. Este *software* deverá ser executado em uma plataforma PC com alguns recursos específicos de Computação Gráfica e Realidade Virtual, tendo, porém, um custo muito mais acessível que um aparelho especializado. Desta forma tentar-se-á reduzir os custos e o tempo de aprendizado envolvidos no processo, desde a aquisição de experiência ao planejamento propriamente dito.

Para o presente trabalho, será utilizado o modelo virtual de um fígado. Como uma cirurgia e seu planejamento são altamente dependentes dos dados de um determinado paciente, tal modelo não será desenhado ou mesmo construído por um especialista em um computador, mas sim retirado de imagens reais de um órgão real que possa manter a maior fidelidade possível. Na verdade, utilizar-se-á um modelo poligonal 3D obtido a partir de uma tomografia. Note-se que o processo de obtenção deste modelo está fora do escopo deste trabalho.

4.1 Funcionalidades do sistema

O sistema a ser desenvolvido deverá ser capaz de exibir um modelo virtual de um fígado, em um ambiente de Realidade Virtual. Neste ambiente, com a utilização de um plano de corte virtual controlado pelo usuário, será possível testar diferentes possibilidades de secção, bem como obter estimativas de volume restante do órgão em questão, antes e depois da aplicação de uma secção qualquer.

O programa receberá como entrada um modelo tridimensional de um fígado, gerado a partir das planigrafias de um paciente real, no formato 3DS (*3D Studio Max*). Neste trabalho não serão implementados métodos de obtenção dos objetos poligonais a partir de tomografias. Por sua relevância, entretanto, este tema é abordado no capítulo 5.

O *software* mostrará o modelo carregado utilizando técnicas de estereografia para que o cirurgião tenha um maior grau de percepção volumétrica do órgão. Para que seja possível a exibição estereográfica, o usuário necessitará usar óculos do tipo *shutter glasses*. Além da estereografia, o programa também utilizará semitransparência do parênquima para permitir o estabelecimento de uma correlação entre sua topologia e suas estrutura internas, ou seja, artérias, veias e suas ramificações. Note-se que deverá ser possível habilitar ou desabilitar a exibição estereográfica e modificar o fator de transparência do parênquima, do nível mais baixo (objeto opaco) ao nível mais alto (totalmente transparente).

Em conjunto com a imagem do fígado virtual, será exibido um plano de secção, que ajudará o cirurgião a estabelecer a melhor região de corte possível para um determinado paciente, de acordo com sua necessidade. Tanto o plano de corte quanto o fígado poderão ser movimentados em conjunto ou individualmente.

O posicionamento dos objetos dar-se-á, através de dispositivos de entrada de dados, tais como mouse, teclado e rastreadores de inclinação (*trackers*).

Tanto o fígado virtual quanto o plano de corte virtual, após serem selecionados individualmente ou em conjunto, poderão ser rotacionados nos eixos x, y e z, deslocados em qualquer direção, aproximando-se ou afastando-se do observador, sempre dentro de um limite que será definido.

Uma vez corretamente posicionados o fígado e o plano de corte, de acordo com intenção do cirurgião, será realizado a secção e o cálculo do volume a ser seccionado e, por conseqüência, o volume restante do órgão. Este cálculo dependerá de dados que deverão ser alimentados pelo cirurgião, relativo à escala das planigrafias de onde se origina o objeto.

Para que se possa interagir confortavelmente com os dispositivos que irão manipular os objetos dispostos no ambiente virtual criado, deverá admitir-se a configuração (customização) desses dispositivos, tais como definir se o ambiente deverá ou não ser gerado com estereografia, alterar a sensibilidade do *tracker*, entre outras. Estas configurações serão feitas através de menus intuitivos.

Uma possível expansão deste sistema é o possibilitar que outro cirurgião interaja simultaneamente, transformando o ambiente virtual em um ambiente colaborativo. Neste caso, será possível a interação de dois cirurgiões manipulando os objetos, podendo discutir a melhor solução para o caso de um determinado paciente. Cada cirurgião poderá ver a imagem de diferentes ângulos de visão e manipular um plano de corte próprio. Os dados relativos ao

posicionamento dos planos de corte serão enviados por uma rede (intranet ou internet), possibilitando que cada usuário possa visualizar, além do seu próprio plano de secção, o plano de corte do seu colaborador.

Note-se que o segundo usuário não precisa interagir com o ambiente, podendo ser somente um observador. Neste caso, o sistema poderia ser usado para uma aula de cirurgia de hepática em um ambiente virtual, usada para treinamento de novos cirurgiões. Um outro ponto importante é que os usuários deverão possuir a mesma versão do arquivo a ser visualizado, pois não está no escopo deste trabalho a garantia de consistência entre os modelos visualizados sobre uma rede.

Outra possibilidade de expansão será criar arquivos personalizados contendo dados sobre o paciente, o cirurgião e a solução encontrada. Neste caso deveria admitir-se o salvamento de contexto, como uma espécie de *snapshot* da visão do cirurgião englobando o posicionamento do fígado e do plano de secção.

5. Obtenção dos dados médicos

Apesar de não fazer parte do desenvolvimento deste projeto, é necessário pelo menos explicar como as imagens tomográficas geradas a partir de um órgão real são transformadas em um modelo computacional, que virá a ser usado como entrada para o sistema proposto neste trabalho.

A partir da obtenção das imagens originais (seção 5.1), há duas formas principais largamente utilizadas para gerar essas imagens. Estas formas são conhecidas como renderização de faces e renderização de volumes.

Na renderização de faces, os passos a serem realizados após ter-se as imagens digitalizadas são a segmentação da imagem, a geração da superfície do objeto e por fim a suavização da superfície gerada, como mostrado na figura 5.1. A seção 5.2 apresenta uma pequena explicação sobre estes processos.

Na renderização por volume, os passos a serem realizados após a segmentação da imagem são basicamente a reconstrução dos dados volumétricos utilizando-se um algoritmo de renderização de volume como *ray casting* ou *splatting*. Maiores detalhes sobre estes métodos são apresentados na seção 5.5.

5.1 Obtenção das imagens originais

As imagens originais podem ser obtidas a partir de diversos instrumentos usados por especialistas em aquisição de imagens na medicina, como por exemplo, Tomografia Computadorizada (CT), Ressonância Nuclear Magnética (RNM) e Ultra-Som.

As imagens obtidas por estes instrumentos são puramente bidimensionais, necessitando assim de um segundo nível de tratamento para que possam ser usadas na reconstrução do objeto tridimensional. Este segundo nível é chamado de segmentação da imagem e será descrito a seguir.

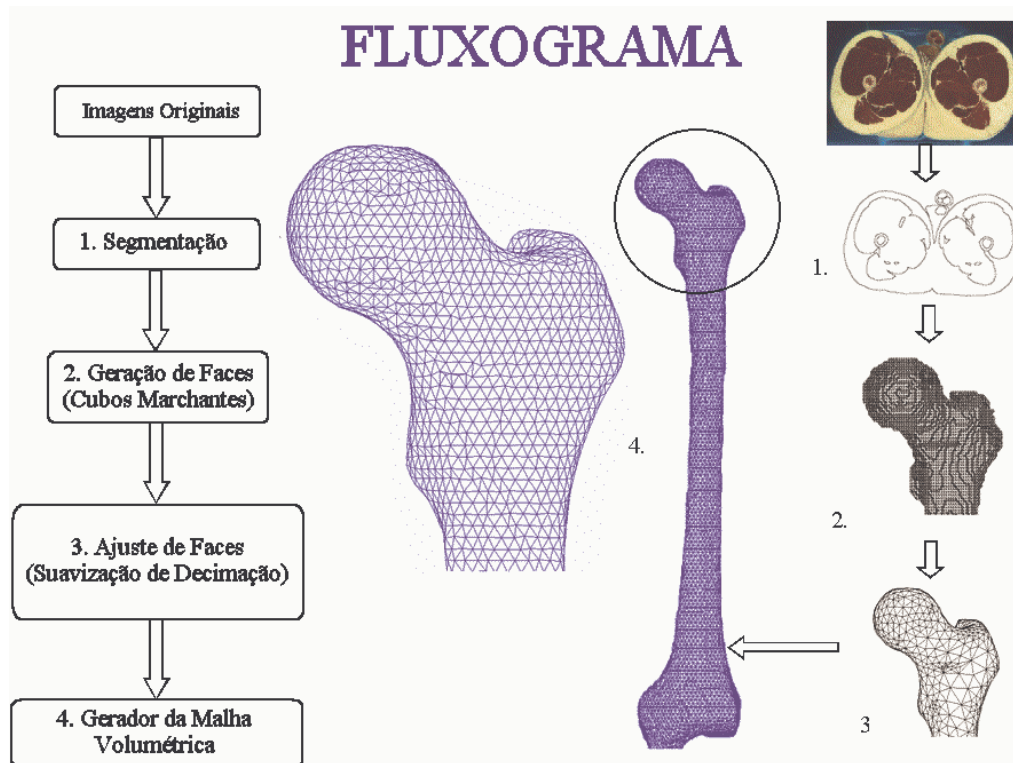


Figura 5.1 – Fluxograma das principais partes da geração de imagens tridimensionais a partir de órgãos reais [VIS 03b]

5.2 Segmentação da imagem

A segmentação de imagens possui uma idéia simples que é a de separar o que se precisa da imagem bidimensional adquirida, daquilo que não será necessário. Não é simples, porém, definir com precisão que regiões deverão ser separadas. Isto ocorre em geral por causa da baixa qualidade da imagem ou da pouca diferença existente entre um tecido e outro.

Após a segmentação, é possível obter somente a parte relevante da imagem, como por exemplo, na figura 5.2 onde mostra-se a imagem original à esquerda e o resultado de sua segmentação à direita.

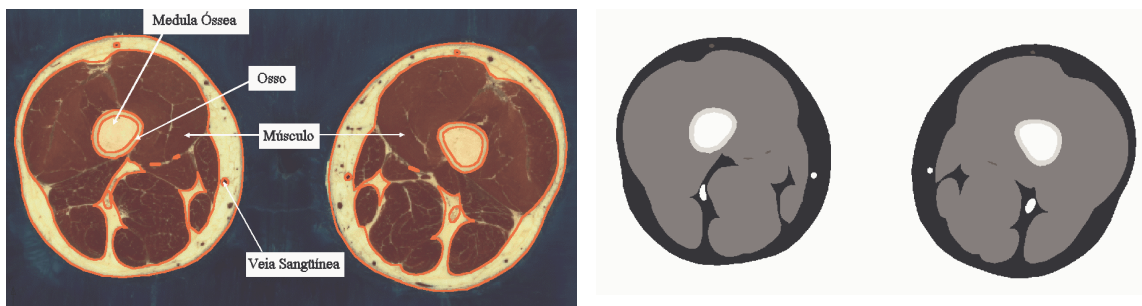


Figura 5.2 – Imagem original (esq.) e imagem segmentada (dir.) [VIS 03b]

Espera-se com a segmentação que as regiões geradas correspondam às partes físicas do órgão, representados por uma imagem em duas dimensões. Segundo Gonzales e Woods [GON 92], a segmentação automática é uma das mais difíceis tarefas em processamento de imagens.

No processo de segmentação de uma imagem, todos os métodos utilizados assumem duas condições:

- os valores de intensidade são diferentes para diferentes regiões;
- dentro de uma região (que representa parte ou todo um objeto em uma imagem), os valores de intensidade são similares.

Os métodos de segmentação podem ser classificados em duas categorias: Aproximações Baseadas em Bordas e Aproximações Baseadas em Regiões. A primeira categoria usa operadores de detecção de bordas como os de Robert, Prewitt, Sobel ou Laplace [SID 03]. Nestes métodos, as regiões resultantes não podem estar conectadas de maneira alguma, requerendo portanto que as bordas estejam fechadas.

A segunda categoria por sua vez, baseia-se na similaridade de pontos vizinhos (que constituem o que se chama de uma região) da imagem. Alguns dos métodos mais conhecidos são *Threshold*, *Clustering*, *Region Growing* e *Splitting and Merging* [GON 92].

Ao final da segmentação, o contorno gerado será entregue ao nível seguinte de tratamento. Neste momento decide-se qual caminho a ser seguido: a renderização de faces ou a renderização de volumes. Na figura 5.3 é mostrado um fluxograma dos caminhos possíveis para renderização a partir das imagens médicas.

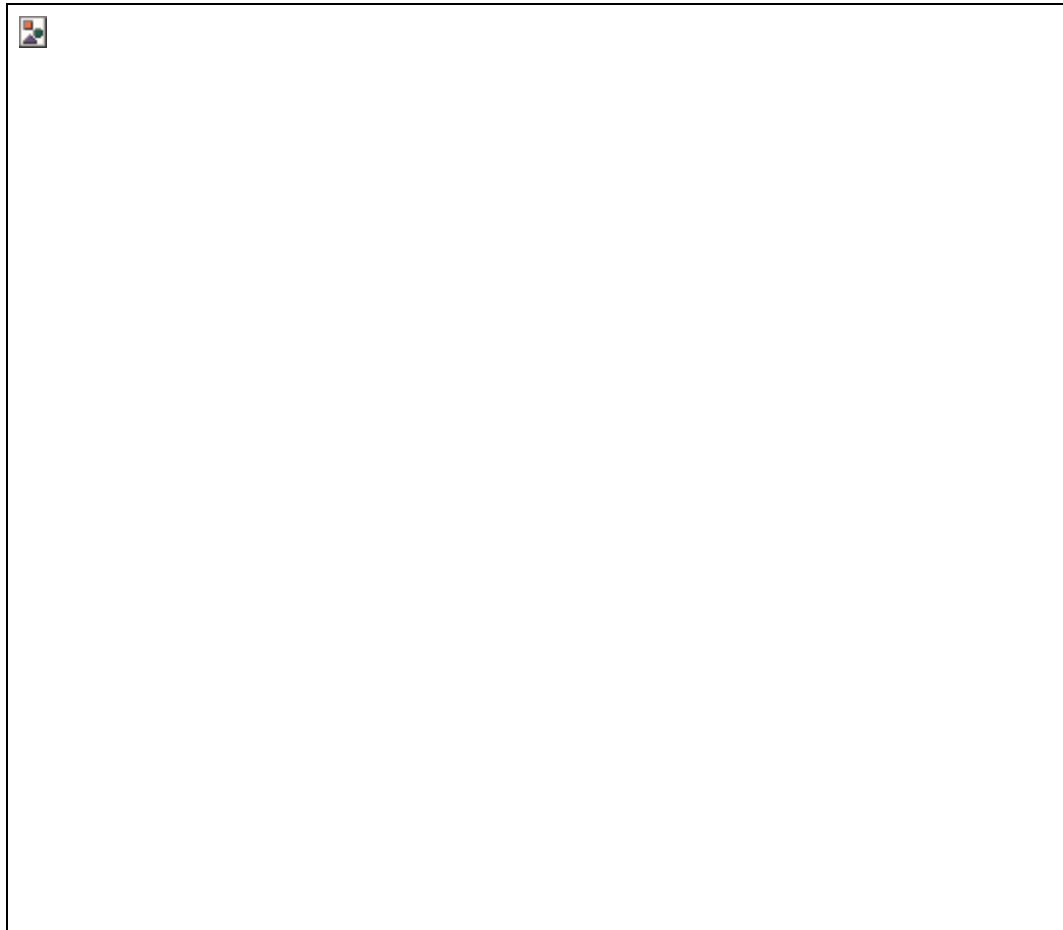


Figura 5.3 – Fluxograma de métodos de renderização de imagens médicas

Se for escolhido o caminho da renderização de faces, logo após a etapa de segmentação, iniciar-se-á a geração de superfície do objeto, que será explicada a seguir. A renderização de volume é apresentada na seção 5.5.

5.3 Geração da superfície do objeto

No caso de renderização de faces, após a segmentação, parte-se para a criação das faces desse objeto. Isto é feito com a ajuda de uma estrutura chamada de Voxel. O Voxel (*volume pixel*) é uma unidade de informação gráfica, como o pixel (*picture element*), porém em vez de definir um ponto no plano, define um volume no espaço.

A partir de cada imagem segmentada, define-se um voxel para cada pixel pertencente ao órgão. Empilhando-se os planos de voxels criados, gera-se um conjunto de voxels que

cobre todo o volume do órgão (figura 5.4). Após estar definido este conjunto, parte-se para a etapa de construção da malha de polígonos através do algoritmo de cubos marchantes. Este algoritmo varre os cubos formados pelos voxels válidos dos objetos e testa seus vértices, substituindo os cubos por uma malha de polígonos mais adequados aos valores dos voxels em seu interior. Maiores detalhes deste algoritmo podem ser encontrados em [VIS 03b]. Um exemplo do resultado da aplicação deste algoritmo pode ser visto na figura 5.5.

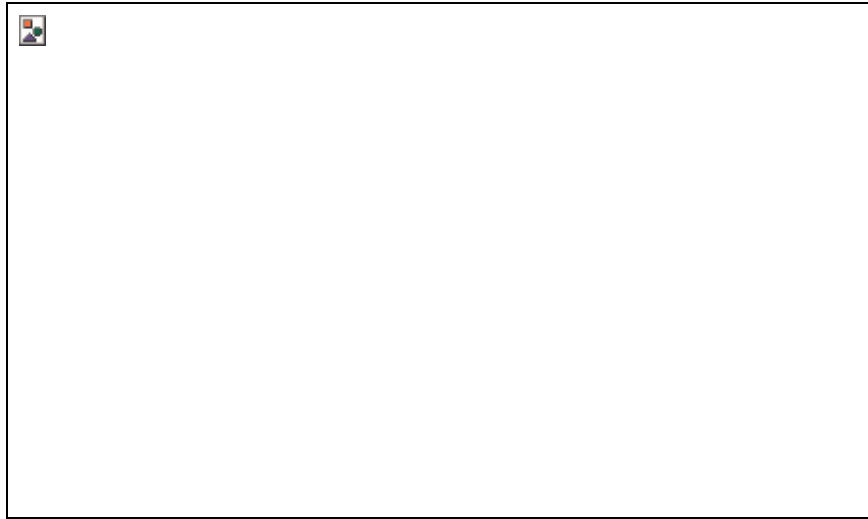


Figura 5.4 – Pilha de planos de voxels

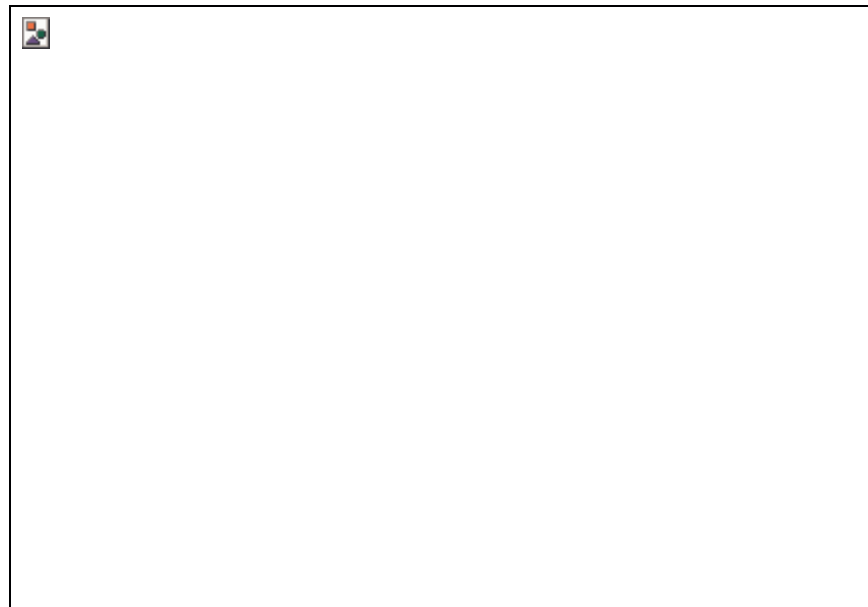


Figura 5.5 – Malha de polígonos gerada pelos cubos marchantes [VIS 03b]

5.4 Ajustes sobre a superfície gerada

Conforme pode ser observado na figura 5.5, o modelo de faces gerado pelo algoritmo de cubos marchantes possui faces com ângulos muito bruscos entre si, gerando a aparência de degraus de uma escada, o que não representa a curvatura real da superfície do órgão. Este modelo também possui muitos vértices e faces triangulares o que restringe diretamente o desempenho computacional na exibição do objeto

Por isso é necessário lançar mão do métodos que melhoram a qualidade e a eficiência de um modelo composto por faces. Estes métodos são denominados suavização (*smoothing*) e decimação (*decimation*).

A suavização é uma técnica que ajusta as coordenadas dos pontos para melhorar a aparência de uma malha de polígonos e/ou dar maior qualidade de visualização modificando o formato dos triângulos que compõem a superfície. Neste processo a topologia do modelo não é modificada, apenas sua geometria, ou seja, nenhum dos triângulos que compõem as faces de um determinado objeto são removidos ou acrescentados, apenas melhora-se seu aspecto para dar maior qualidade à visualização. Um exemplo de suavização pode ser visto na figura 5.6.

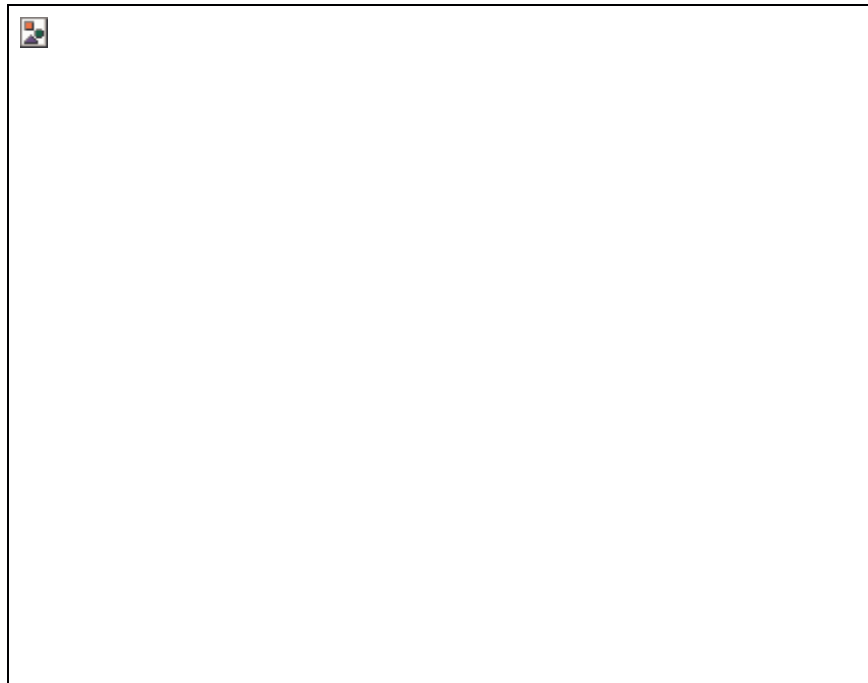


Figura 5.6 – Malha de polígonos suavizada

A técnica de decimação, por sua vez, modifica a geometria do objeto, reduzindo o número de triângulos das faces de um modelo de superfície mantendo uma boa aproximação à

geometria original. Com isso, perde-se pouco na qualidade da imagem final, como pode ser observado na figura 5.7. Entretanto, ao final do processo, com menos faces para exibir, ganha-se muito em termos de desempenho.

Após os ajustes feitos com as técnicas de suavização e decimação, pode-se submeter o objeto gerado à etapa de renderização, ou seja, a exibição propriamente dita usando ferramentas de exibição de polígonos como OpenGL ou Direct3D.

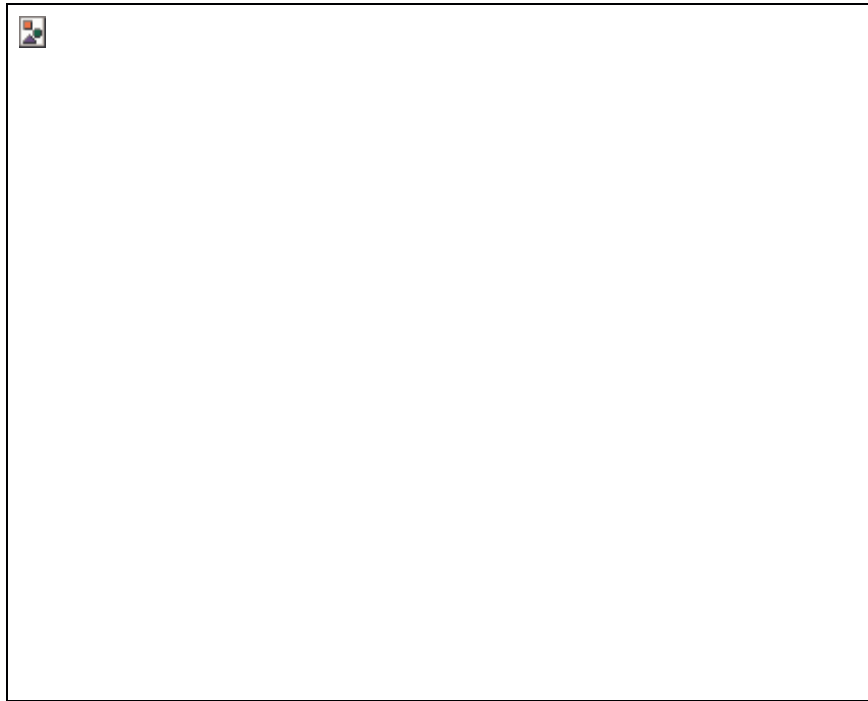


Figura 5.7 – Malha de polígonos após os processos de suavização e decimação

5.5 Renderização de volumes

A renderização de volumes é o processo utilizado para projetar imagens diretamente a partir de dados armazenados na forma de voxels. Dentre essas técnicas de visualização de volumes, pode-se destacar as técnicas de *ray casting* e *splatting*.

5.5.1 Ray Casting

A técnica de *ray casting* [WPI 03] tem por característica a visualização dos dados do volume sem a necessidade de impor estruturas geométricas adicionais sobre os dados originais. O algoritmo de *ray casting* é particularmente interessante quando são utilizados

dados de estruturas anatômicas que podem ser parcialmente transparentes ou sem contornos muito definidos, como são os casos dos tecidos moles e semitransparentes do corpo humano. A técnica de *ray casting* consiste em definir a cor dos pixels em um plano a partir da projeção de raios de luz que percorrem os voxels tridimensionais.

Na figura 5.8 pode-se observar um exemplo de um raio atravessando um conjunto de dados volumétricos e sendo projetado no plano de visualização.

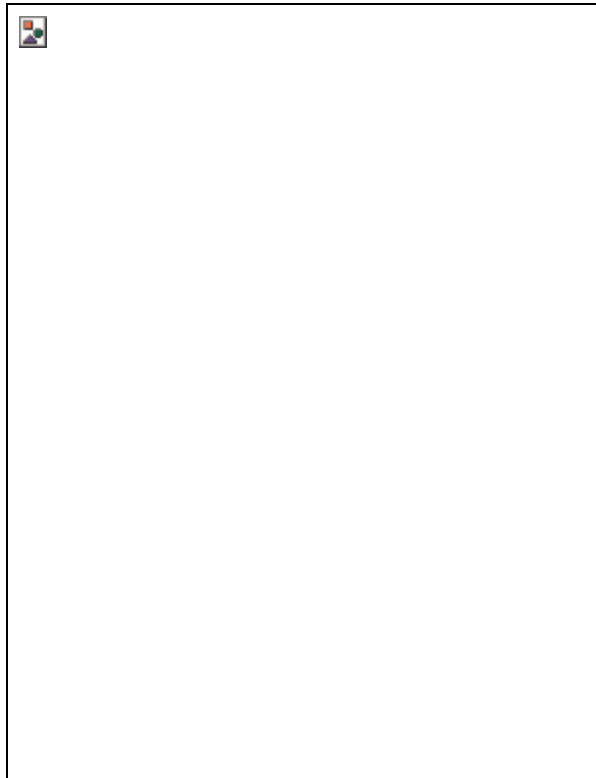


Figura 5.8 – Raio de luz sendo projetado sobre um plano de visualização após atravessar um conjunto de voxels

A posição de emissão destes raios de luz pode ser definida pelo usuário fazendo com que os raios percorram os voxels acumulando as interferências que cada voxel atravessado causa nestes raios. Estas interferências podem ser de diferentes naturezas, tais como a cor do voxel, densidade do tecido representado pelo voxel ou até mesmo a sua opacidade. Uma tabela referente às naturezas dos voxels deve ser informada antes de começar a visualização, para poder definir-se, por exemplo, o grau de opacidade mínimo e máximo que cada voxel pode assumir sobre os dados de entrada. Um exemplo de figura gerado pela técnica de *ray casting* é mostrado na figura 5.9.

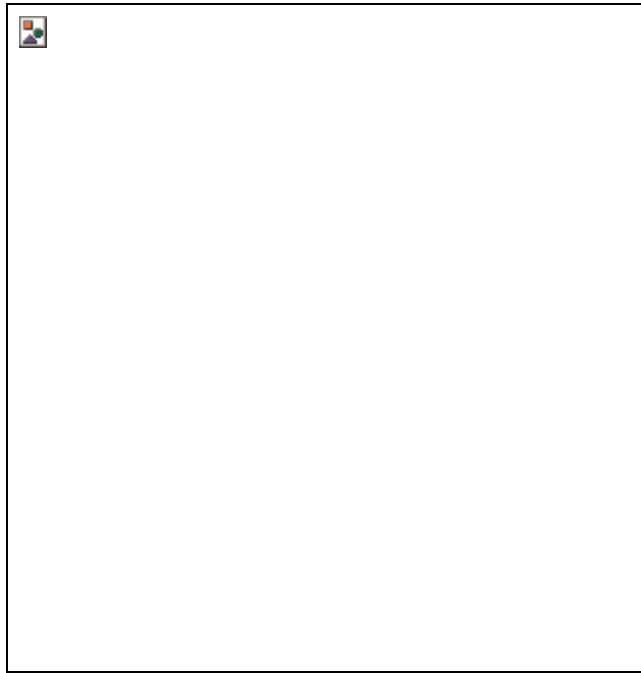


Figura 5.9 – Exemplo de figura gerada pela técnica de *Ray Casting*

5.5.2 Splatting

A técnica tem por característica a visualização dos dados como um todo, diretamente dos voxels (não faz uso de geometrias pré-processadas e impostas aos dados de entrada), assim como *ray casting*, porém utiliza uma forma diferente de percorrer os dados dos voxels e gerar suas projeções.

Splatting percorre os voxels dos dados tridimensionais de entrada de forma ordenada da frente para trás, de acordo com a figura 5.10, partindo-se do voxel mais próximo do plano de visualização e projetando-se estes voxels no plano. Estes voxels são projetados de forma que um voxel pode contribuir com vários pixels na tela, do mesmo modo que vários voxels podem contribuir com um mesmo pixel na tela. Esta técnica de projeção é semelhante a se atirar uma bola de neve em uma janela, como pode ser visto na figura 5.11, na qual forma-se no seu centro um ponto de maior densidade e que vai diminuindo ao se distanciar desse ponto.

Ao ser projetado em um ponto da tela, o voxel altera a cor deste ponto e dos pontos vizinhos a ele. Quanto mais distante do ponto de projeção, menor a influência do voxel na cor do ponto.

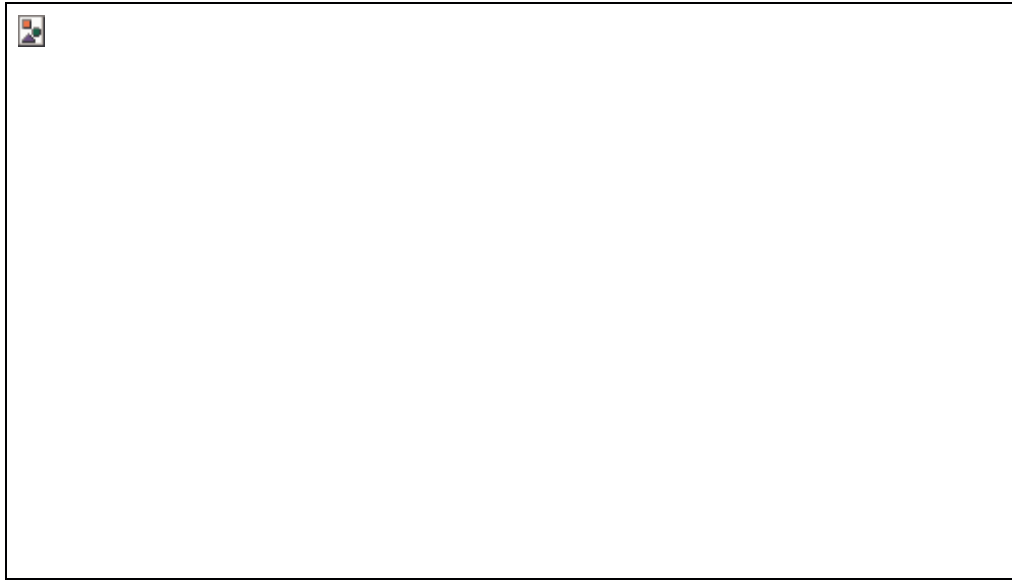


Figura 5.10 – Diagrama de *Splatting*



Figura 5.11 – Exemplo de *splatting*

6. Problemas da implementação

De acordo com a especificação do trabalho, o *software* disponibilizará ao usuário o cálculo do volume total bem como da parte seccionada e volume restante do fígado virtual. Este cálculo não é trivial, pois o fígado humano possui aspecto irregular, de geometria complexa, não sendo possível resolver o problema por métodos diretos.

Para tanto será necessário utilizar um algoritmo que resolva este problema em um tempo computacionalmente viável em uma plataforma PC. O ideal é que este método seja rápido o suficiente para efetuar o cálculo desejado em tempo real. A descrição do método que se pretende usar para cálculo de volumes é apresentada na seção 6.1.

Se não for possível encontrar um método que satisfaça estes requisitos, optar-se-á por uma abordagem diferenciada. Essa abordagem será fazer um cálculo aproximado em tempo real e em seguida, após o correto posicionamento do plano de corte sobre o fígado virtual, executar um cálculo com maior exatidão.

Outro aspecto não trivial deste trabalho é a divisão do fígado em duas partes. O algoritmo a ser usado nesta tarefa é apresentado na seção 6.2.

6.1 Cálculo do Volume

Propõe-se, para efetuar o cálculo do volume do fígado, uma idéia simples. Parte-se do princípio que o objeto em questão é composto somente por triângulos. Cada um desses triângulos possui um vetor normal orientado para fora do objeto. É importante ressaltar que a orientação dos vetores normais **não** será validada na carga do objeto, portanto poderá ser necessário um pré-processamento para sua utilização neste *software*.

Para demonstrar o funcionamento do algoritmo, aplicar-se-á a teoria sobre um objeto fictício, de acordo como o que pode ser visualizado na figura 6.1.

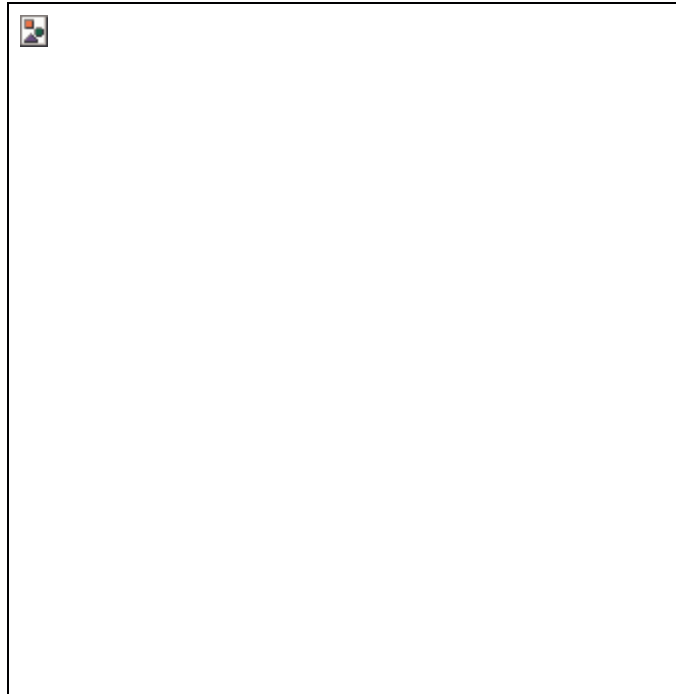


Figura 6.1 – Faces superior e inferior de um objeto e projeções verticais das arestas da face superior sobre a face inferior

Supõe-se então a existência de um plano XZ que fique completamente abaixo do objeto, ou seja, no qual todas as faces do objeto estejam em uma posição superior a ele. Este plano servirá basicamente para que se possa projetar nele as faces do objeto, de modo a criar prismas definidos por cada uma das faces e o próprio plano. Cada face lateral, por ser perpendicular ao plano, gera uma linha como projeção e seu volume resultante é nulo, por isso considere-se apenas, no referido objeto as faces superior e inferior.

Considera-se que os prismas que possuam o vetor normal da face superior apontando na direção oposta ao plano sejam de volume positivo (como visto em (a) na figura 6.2) bem como os prismas que possuírem o vetor normal desta mesma face apontando na direção do plano serão considerados de volume negativo, de acordo com a figura 6.2 (b).

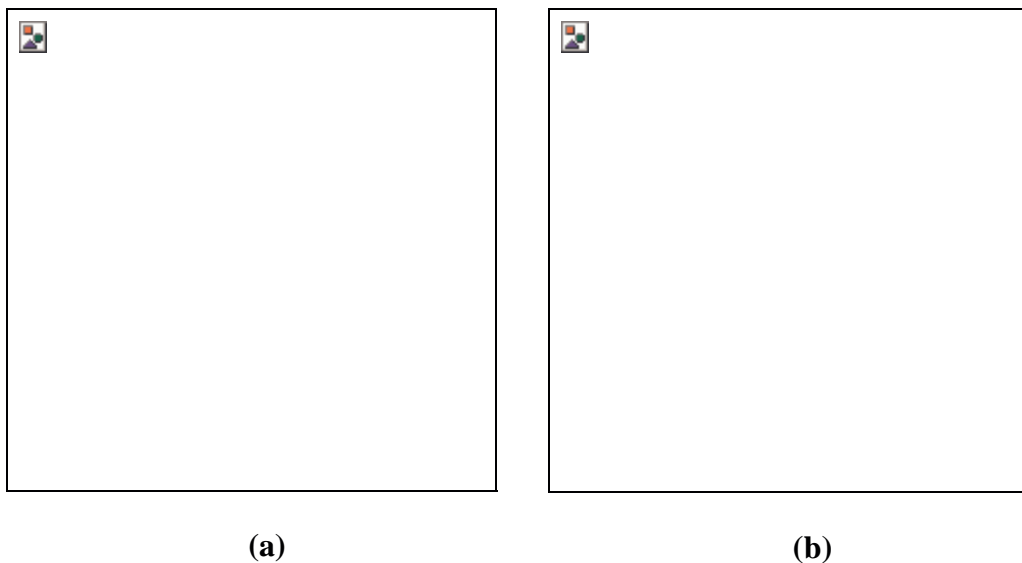


Figura 6.2 – (a) Projeção da face superior sobre o plano XZ (volume positivo) e (b) projeção da face inferior sobre o plano XZ (volume negativo)

O volume do objeto será obtido através da soma entre o volume positivo gerado pela face com a normal N_1 e o volume negativo gerado pela face com a normal N_2 (figura 6.3). Note-se que este princípio pode ser aplicado para objetos mais complexos, com diversas faces. Neste caso, o volume total do objeto será obtido através do somatório dos volumes positivos e negativos gerados por todas as faces.

Planeja-se desta forma utilizar este método para calcular o volume do fígado virtual.

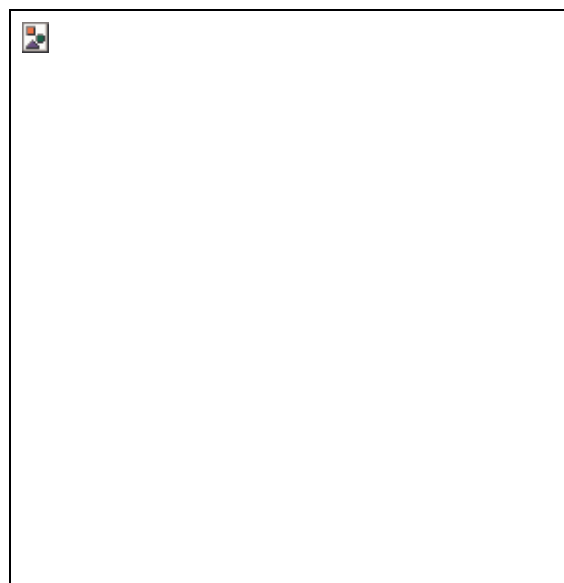


Figura 6.3 – Sobreposição dos volumes positivos e negativos

6.2 Divisão do fígado virtual

Outra função desejada de difícil implementação é a divisão do fígado em duas imagens, uma vez que seja posicionado o plano de corte.

Para exemplificar de uma forma mais didática, o objeto tridimensional será substituído por um objeto bidimensional e o plano de secção será substituído por uma linha de secção. Note-se que o mesmo princípio pode ser aplicado para em um ambiente tridimensional com seus devidos ajustes.

Suponha-se um objeto composto por diversos vértices e arestas. Será posicionado sobre ele uma linha de secção, como mostrado na figura 6.4, que o dividirá em duas figuras independentes.

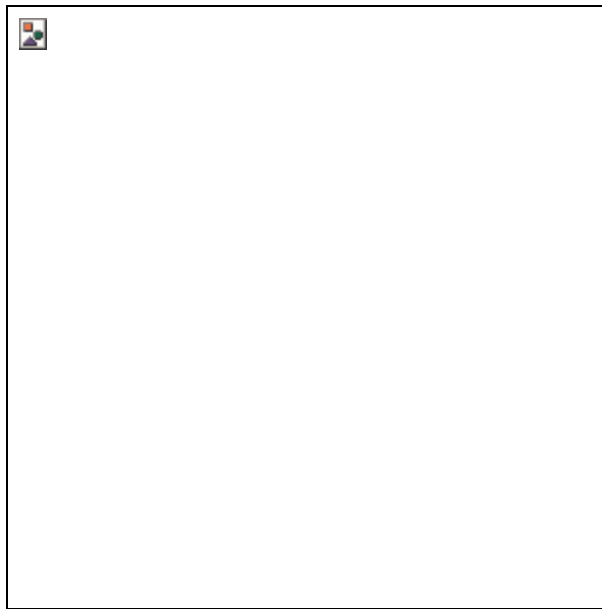


Figura 6.4 – Objeto e linha de secção

Note-se que existem três possibilidades a serem tratadas em relação ao posicionamento entre as arestas e a linha de secção. Na primeira, as arestas estão posicionadas totalmente à esquerda da linha de secção e na segunda as arestas estão posicionadas completamente à direita da mesma. Na terceira possibilidade, restam as arestas que são interseccionadas pela linha de secção e a estas deve ser dispensado um cuidado especial. Este cuidado deve-se ao fato de que estas arestas encontram-se parcialmente de um lado e de outro da linha de secção.

Quando uma aresta é interseccionada pelo plano de secção, ela é dividida em duas novas arestas. Neste momento, é possível separar as imagens que serão compostas por todas

as arestas de um dos lados e as novas arestas geradas pela linha de secção, também dispostas do mesmo lado.

Até o momento foram obtidos dois polígonos abertos, como pode ser visto na figura 6.5. Para que seja possível calcular a área dessas novas figuras, é necessário que as mesmas sejam polígonos fechados. Desta forma, precisa-se criar uma nova aresta que complemente estes polígonos. Acrescentar-se-á portanto, em cada objeto gerado, uma nova aresta definida pela própria linha de secção e limitada pelas suas intersecções com as arestas do objeto, conforme a figura 6.6.

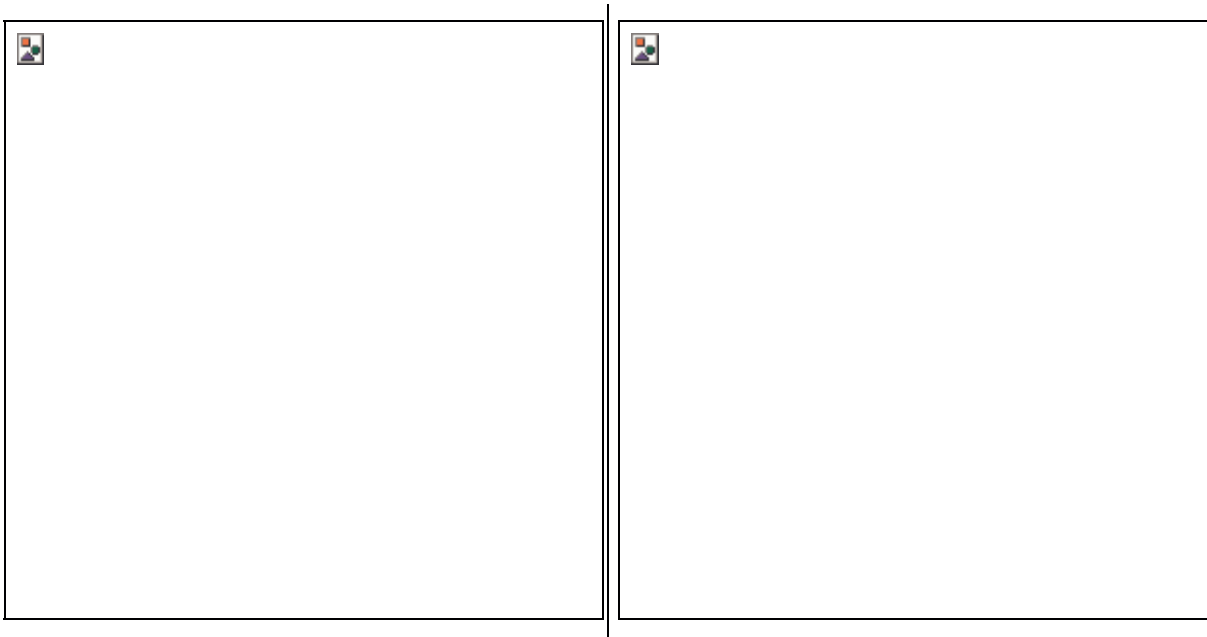


Figura 6.5 – Polígonos abertos gerados a partir da linha de corte

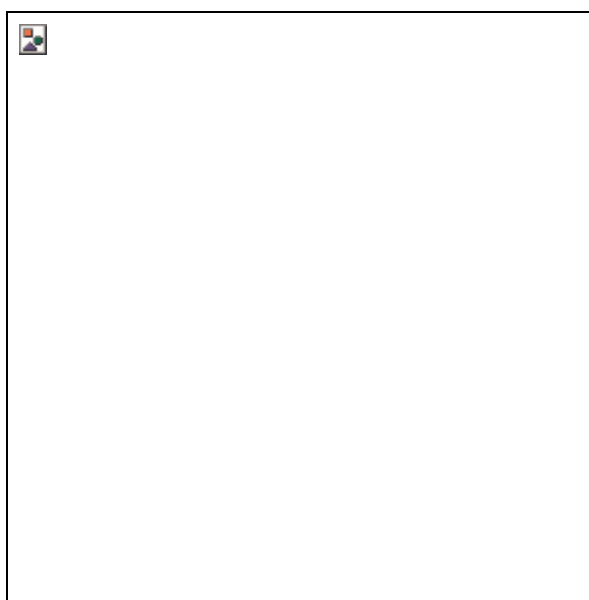


Figura 6.6 – Objetos finais separados pela linha de corte

Se a utilização desta técnica não for viável do ponto de vista do desempenho, será necessário determinar outra maneira de resolver este problema, possivelmente a simples demonstração de onde o fígado haveria de ser cortado utilizando uma linha de cor diferenciada sobre o parênquima.

Cronograma

As atividades previstas para a segunda parte do Trabalho de Conclusão de Curso a serem realizadas no segundo semestre de 2003 são as seguintes:

1. Implementação do Ambiente Virtual proposto;
2. Testes do Ambiente Virtual;
3. Redação do texto final do TC2;

<i>Atividade / Mês</i>	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Resp.
1	X	X	X		Bueno / Benes
2		X	X		Bueno / Benes
3		X	X	X	Bueno / Benes

Referências

[VIS 03a] *Visible Human Project*. Disponível no endereço:

http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html

Acessado em 28 mar 2003.

[VIS 03b] *Visible Human Project*. Disponível no endereço:

<http://www.nlm.nih.gov/research/visible/vhpconf2000/AUTHORS/SULLIVAN/IMAGINDEX.HTM>

Acessado em 13 mai 2003.

[VOX 03] *VOXEL-MAN 3D-Navigator: Inner Organs. Software* disponível no endereço:

<http://www.uke.uni-hamburg.de/institute/imdm/idv/vm3dn/innerorgans.en.html>

Acessado em 28 mar 2003.

[IVO 03] *iVoxel Browser. Software* disponível no endereço:

<http://vhp.med.umich.edu/UMVB.html>

Acessado em 08 mai 2003.

[PSC 03] *PSC Volume Browser. Software* disponível no endereço:

<http://vhp.med.umich.edu/PSCBrowser.html>

Acessado em 08 mai 2003.

[ATL 03] *Atlas of the Visible Human Male Cross-Sectional Anatomy Tutor. Software* disponível no endereço:

<http://www.jbpub.com/visiblehuman/atlas.htm>

Acessado em 08 mai 2003.

[FLA03] *FlashBack Imaging Visible Human Explorer*. Software disponível no endereço:
http://www.flashbackimaging.com/visible_human_cds.htm

Acessado em 08 mai 2003.

[COU 86] COUINAUD, C. Anatomie chirurgicale du foie. **Chirurgie**, Masson: Paris; vol. 112, n. 5, 337-342, 1986.

[BIS 82] BISMUTH, Henri. Surgical anatomy and anatomical surgery of the liver. **World Journal of Surgery**, vol.6, n. 1, Jan. 1982.

[MIE 94] MIES, S.; LÖSCHER, W.H.; RAIÁ, S.M.A. Tumores Hepáticos. In: Sarvier (ed.) **Clínica Cirúrgica-Alípio Corrêa Netto**. São Paulo, 1994. p. 762-771.

[LEE 94] LEEUWEN, M.S.V.; FERNANDEZ, M.A.; VAN ES, H.W.; STOKKING, R.; DILLON, E.H.; FELDBERG, M.A.M. Variations in venous and segmental anatomy of the liver: Two and three dimensional MR imaging in healthy volunteers. **American Journal of Roentgenology**, vol 162, 1337-1345, 1994.

[KAW 93] KAWASAKI, S.; et.al. Preoperative measurement of segmental liver volume of donors for living related liver transplantation. **Hepatology**, vol. 18, n. 5, 1115-1120, 1993.

[KAM 01] KAMEL, I.R.; KRUSKAL, J.B.; WARMBRAND, G.; GOLDBERG, S.N.; POMFRET, E.A.; RAPTOPOULOS, V. Accuracy of volumetric measurements after virtual right hepatectomy in potential donors undergoing living adult liver transplantation. **American Journal of Roentgenology**, vol. 176: 483-4877, 2001.

- [ZAN 02] ZANCHET, D.J.; MONTERO, E.F.S. Pig liver sectorization and segmentation and virtual reality depiction. **Acta cirúrgica Brasileira**, vol. 17, n. 6, 381-387, 2002.
- [GON 92] R. C. GONZALES AND R.E. WOODS, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1992.
- [MED 03] Enciclopédia Medicina e Saúde – vol. I, 148-151, 198-199. Editora Abril Cultural.
- [SID 03] SIDDHESWAR RAY – Notas de aula sobre processamento de imagens.
Disponível no endereço:
<http://www.csse.monash.edu.au/~sid/teach/cse3314/notes10.pdf>
Acessado em 20 mai 2003.
- [CHI 03] Chicago Institute of Neurosurgery and Neuroresearch – Artigo sobre Cirurgia Minimamente Invasiva
Disponível no endereço: <http://www.cinn.org/isc/mis.html>
Acessado em 10 mai 2003.
- [KUH 03] U. KÜHNAPFEL, CH. KUHN, M. HÜBNER, H.-G. KRUMM, H. MAAß, B. NEISIUS, The Karlsruhe Endoscopic Surgery Trainer as an Example for Virtual Reality in Medical Education, Figura 1.
Disponível no endereço:
<http://iregt1.iai.fzk.de/KISMET/docs/UKMITAT.html>

[WPI 03] Worcester Polytechnic Institute – John Pawasauskas – *Volume Visualization With Ray Casting*. Disponível no endereço:

<http://www.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/powwie/p1/ray-cast.htm>

Acessado em 14 mai 2003.