



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Artes, Ciências e Humanidades

Relatório Técnico PPgSI-005/2013
*Revisão Sistemática sobre Métodos de
Reconstrução 3D de Imagens Médicas*

Caio Felipe Carneiro Bergamasco
Leila Cristina Carneiro Bergamasco
Fátima L. S. Nunes

Novembro - 2013

O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade dos autores.

Série de Relatórios Técnicos

PPgSI-EACH-USP. Rua Arlindo Béttio, 1000 - Ermelino Matarazzo -
03828-000

São Paulo, SP.

TEL: (11) 3091-8197

<http://www.each.usp.br/ppgsi>

Revisão Sistemática sobre Métodos de Reconstrução 3D de Imagens Médicas

Caio Felipe Carneiro Bergamasco¹
Leila Critina Carneiro Bergamasco¹
Fátima L. S. Nunes¹

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo
São Paulo – SP, Brazil

{caio.bergamasco, leila.cristina, fatima.nunes}@usp.br

Resumo

***Resumo.** A tecnologia se faz presente atualmente em diversos setores da sociedade moderna. A Medicina por seu caráter inovador é uma das áreas que mais se beneficia com esse avanço tecnológico. Uma das possibilidades de aplicação dessas novas tecnologias nessa área é a obtenção de imagens de partes do corpo humano com mais rapidez e um grau de resolução maior, aprimorando os diagnósticos fornecidos pelos especialistas. Em paralelo, a Computação Gráfica, também vem aprimorando suas técnicas e possibilita, a reconstrução de modelos tridimensionais a partir de imagens bidimensionais com precisão. A justificativa para a criação e aprimoramento de técnicas para tal escopo de atividade deriva do fato que modelos tridimensionais fornecem uma visão mais completa dos objetos analisados por considerar a sua profundidade. Sendo assim, modelos tridimensionais de estruturas do corpo humano gerados a partir de imagens de exames, podem aumentar a precisão do diagnóstico. Este documento apresenta os resultados parciais do presente projeto que tem por objetivo implementar e comparar métodos de reconstrução tridimensional para imagens médicas cardíacas.*

1. Introdução

A tecnologia está cada dia mais presente na sociedade e, entre as áreas privilegiadas pode-se destacar a Medicina. A aquisição de imagens, em particular, é uma subárea da Medicina que possui um envolvimento acentuado com os avanços tecnológicos. Como ressalta [di Giulio 2009], desde 1895, com a introdução da Radiografia na prática médica, a obtenção de imagens do corpo humano tem se tornado mais rápida e precisa, graças ao desenvolvimento das Tecnologias da Informação.

Existem na Medicina diversos exames capazes de obter informações a respeito da anatomia humana. Por meio de imagens bidimensionais (2D) segmentadas em fatias ordenadas (*slices*) é possível ter uma percepção de partes de estruturas do corpo humano. Geralmente, esses *slices* possuem um volume de dados muito grande, demandando tempo de um especialista para analisá-los e aumentando as chances de alguma informação passar despercebida.

Os modelos tridimensionais (3D), por sua vez, fornecem ao usuário uma perspectiva adicional, de profundidade, além das possibilidades de interação com o usuário, que permitem visualizar o objeto a partir de diferentes pontos de vista. Dessa forma, torná-se viável a aplicação de modelos 3D no contexto médico, uma vez que se pode reunir as

informações dos *slices* gerados pelos exames clínicos em um único modelo auxiliando o diagnóstico do especialista.

Esse campo de estudo, a reconstrução de modelos 3D a partir de *slices* 2D, gera uma busca por métodos de reconstrução 3D capazes de manter as informações 2D de forma correta e precisa nos modelos reconstruídos [Archip et al. 2006]. Na literatura é possível encontrar diversos métodos que foram criados a fim de satisfazer esses critérios de forma satisfatória como pode ser observado em [Marcan et al. 2011] e [Wang et al. 2008] que serão analisados posteriormente.

Este trabalho propõe reunir e analisar métodos desenvolvidos para a reconstrução 3D de imagens médicas cardíacas, focando em imagens geradas por Ressonância Magnética Nuclear cardíacas do ventrículo esquerdo, visto que está dentro de um contexto maior que visa a estabelecer métodos para recuperação de imagens cardíacas baseada em seus conteúdos.

2. Metodologia

A metodologia empregada para a elaboração da revisão da bibliográfica foi a técnica de Revisão Sistemática (RS). A RS é uma metodologia de pesquisa desenvolvida para reunir e avaliar estudos relevantes relacionados a um determinado tema. O processo de condução da RS obedece uma sequência bem definida de passos metodológicos, seguindo protocolos desenvolvidos com raciocínio *a priori*, o que a diferencia de revisões comuns. Além disso, a RS segue uma estratégia de pesquisa bem definida e documentada [Kitchenham 2004].

A RS é dividida em **Planejamento**, que define o problema de pesquisa, os critérios de seleção de estudos e o protocolo de revisão; **Condução**, na qual é feita uma análise da pesquisa bibliográfica a partir dos critérios estabelecidos no protocolo, incluindo ou excluindo estudos e extraindo informações detalhadas dos mesmos e **Análise dos Resultados** que documenta os resultados e conclusões obtidas da RS.

2.1. Protocolo de Revisão Sistemática

O protocolo de Revisão Sistemática é usado para o planejamento da revisão bibliográfica e garante que esta seja conduzida com rigor científico. É encorajado que o protocolo seja feito em conjunto com um profissional experiente da área que pode oferecer alguns trabalhos iniciais para conhecimento do assunto, na chamada análise exploratória. E, também, pode avaliar se as questões de pesquisa e itens de exclusão e inclusão são pertinentes ao assunto.

O protocolo de pesquisa do presente projeto se baseou nos conceitos propostos por [Kitchenham 2004] e [Biolchini et al. 2005], os principais itens do protocolo são apresentados nos itens abaixo, sendo que o protocolo completo está localizado no Apêndice A.1.

- **Objetivo:** Identificar e analisar as técnicas existentes de reconstrução de imagens tridimensionais aplicadas a imagens médicas.
- **Questão da revisão:** Quais são as técnicas existentes para reconstrução de imagens médicas?
- **Línguas dos Artigos:** Português e Inglês

2.2. Condução da Revisão Sistemática

Após finalizado o protocolo, foi iniciada a busca e obtenção dos artigos nas bases selecionadas, aplicando as palavras-chave definidas para cada uma delas, como apresentado no protocolo. Foram obtidos 74 artigos conforme a distribuição do gráfico apresentado na Figura 1. Pode-se verificar que a maioria dos artigos recuperados foram da base *PubMed*.

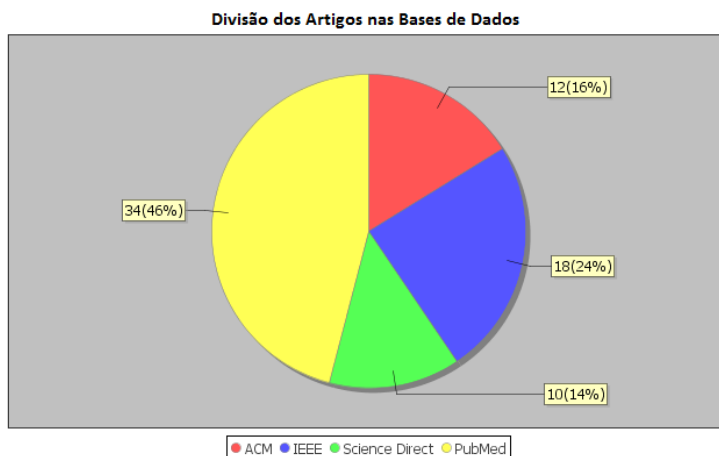


Figura 1. Bases de dados utilizadas

Posteriormente foram lidos os resumos de cada artigo e foram aplicados os seguintes critérios de inclusão e exclusão:

Crítérios de inclusão:

- I1: Artigos que implementem ou apresentem métodos de reconstrução de imagens médicas
- I2: Artigos com foco em Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada
- I3: Artigos que implementem métodos utilizando as ferramentas VTK ou OpenGL

Crítérios de exclusão:

- E1: Artigos que não estão disponíveis integralmente nas bases de dados
- E2: Artigos que não utilizem Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada
- E3: Artigos que não implementem ou apresentem métodos de reconstrução de imagens médicas
- E4: Artigos que utilizem angiografia
- E5: Artigos que não são da área médica
- E6: Artigos que não estão em inglês ou português
- E7: Artigos que não são *full paper* ou *short paper* (pôsteres, tutorias, relatórios técnicos ou demos por exemplo)
- E8: Artigos que utilizem ressonância magnética de tensão de difusão

Foram incluídos 41 artigos, que foram lidos integralmente e, para cada um deles, foram preenchidos os Formulários de Extração, contendo o nome do artigo, os autores, a data de publicação, o veículo de publicação, a fonte, o resumo, descrição do método de reconstrução, qual a forma empregada para avaliação dos resultados, comentários

adicionais e referências relevantes. Esses formulários auxiliaram a última fase da RS (Análise dos Resultados) por terem os dados extraídos dos trabalhos de forma mais detalhada.

Durante a extração foi notado que alguns artigos não satisfaziam os critérios de inclusão e foram excluídos. A Tabela 1 apresenta o resultado final da extração.

Tabela 1. Estudos e métodos utilizados

<i>Estudo</i>	Extração	Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Doyle et al. [2008]	Rejeitado	I1	E1
Hong et al. [1996]	Rejeitado	-	E3
Huang et al. [2011]	Aceito	I1; I2; I3	-
Wang et al. [2008]	Aceito	I1; I2	-
Guo et al. [2010]	Rejeitado	-	E3
Wang et al. [2007]	Aceito	I1; I2	-
Olamaei et al. [2012]	Rejeitado	-	E3
Mitton et al. [2008]	Rejeitado	-	E2; E3
Mahdian et al. [2013]	Rejeitado	-	E3
Jin et al. [2006]	Aceito	I1	-
Choi et al. [2004]	Rejeitado	-	E3
Marcan et al. [2011]	Aceito	I1; I2	-
Archip et al. [2006]	Aceito	I1	-
Duan et al. [2004]	Rejeitado	-	E1
He et al. [2007]	Rejeitado	I1	E1
Ai et al. [2010]	Aceito	I1; I2; I3	-
Zhang et al. [2003]	Rejeitado	-	E2
Costa et al. [2008]	Rejeitado	-	E3
Mortele et al. [2002]	Rejeitado	-	E1
Summerlin et al. [2008]	Rejeitado	-	E3
Chen et al. [1999]	Rejeitado	I1	E1
Kim et al. [2012]	Rejeitado	-	E3
Grimmer et al. [2011]	Rejeitado	-	E3
Ma et al. [2010]	Rejeitado	-	E3
Farres et al. [1998]	Rejeitado	-	E3
Perkins e Marais [2006]	Rejeitado	-	E3
Hu et al. [2008]	Rejeitado	-	E2
Li et al. [2012]	Rejeitado	-	E3
Guerrero et al. [2005]	Rejeitado	-	E3
Laurent et al. [2011]	Rejeitado	-	E3
Hu et al. [2012]	Rejeitado	I1	E2
Wood et al. [2004]	Rejeitado	-	E3
Yao et al. [2012]	Rejeitado	I1	E1
Asghar et al. [2011]	Rejeitado	-	E3
Farag et al. [2010]	Rejeitado	-	E3
Maher et al. [2004]	Rejeitado	-	E3
Chang et al. [2006]	Rejeitado	-	E3
Chu et al. [2001]	Rejeitado	-	E3

Zhang et al. [2013]	Rejeitado	-	E3
Shibata et al. [1999]	Rejeitado	I1	E1
Fout et al. [2005]	Rejeitado	I1	E8

Foram incluídos um total de 7 artigos e rejeitados 34. A Figura 2 ilustra essa proporção. A principal causa para a exclusão dos artigos foi a falta de detalhamento do método utilizado ou o uso de *softwares* proprietários.

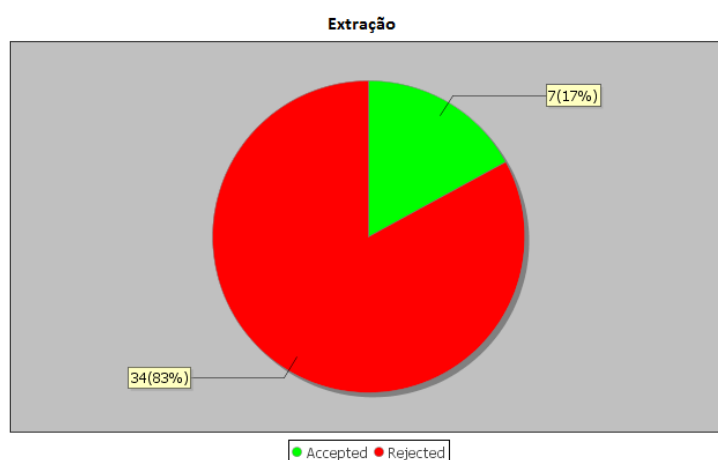


Figura 2. Distribuição dos métodos apresentados nos artigos incluídos

3. Resultados e discussões bibliográficas

A partir dos artigos incluídos na extração foram obtidas informações sobre os métodos utilizados para efetuar a reconstrução. A Tabela 2 mostra os métodos utilizados por cada artigo. Conforme mostra o gráfico na Figura 3 o método de *Marching Cubes* é o mais utilizado.

Tabela 2. Métodos utilizados para reconstrução de imagens médicas

<i>Estudo</i>	<i>Método</i>
Marcan et al. [2011]	<i>Marching Cubes</i>
Wang et al. [2008]	<i>Marching Cubes</i>
Wang et al. [2007]	<i>One Class SVM</i>
Huang et al. [2011]	<i>Marching Cubes e Ray Casting</i>
Ai et al. [2010]	<i>Marching Cubes</i>
Jin et al. [2006]	<i>Marching Cubes</i>
Archip et al. [2006]	Tetraedralização 3D de Delaunay

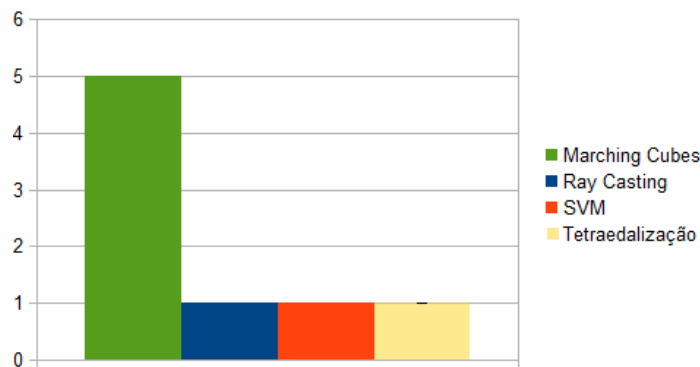


Figura 3. Frêquencia de Métodos

3.1. *Marching Cubes*

O método *Marching Cubes* pode ser utilizado para a reconstrução de *slices* 2D, criando uma aproximação da superfície a partir de um cubo lógico composto por oito vértices, sendo que quatro deles estão dispostos em cada *slice*. Utilizando a proposta da Divisão e Conquista o algoritmo localiza a superfície em cada cubo lógico para seguir para o próximo [Lorensen e Cline 1987].

A disposição de um cubo lógico entre dois *slices* é demonstrada na Figura 4. Para simular a profundidade do objeto, os cubos lógicos podem ter dimensões iguais ao intervalo entre os *slices*. Por exemplo, na Ressonância Magnética, entre um *slice* e outro, há um espaço de 5mm da estrutura analisada. Nesse caso o cubo poderia ter as arestas também com tamanho igual a 5mm.

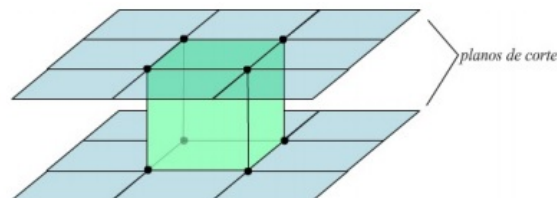


Figura 4. Exemplo de um cubo lógico entre dois *slices* [Aguiar 2010].

Para encontrar a superfície entre dois *slices*, cada vértice do cubo recebe um valor, sendo atribuído “1” para vértices que estão dentro ou em cima do contorno segmentado previamente e “0” para vértices fora do contorno. São analisados o par de vértices que compõem uma aresta do cubo. Se o par possui valores distintos entre si implica que aquela aresta possui uma superfície que deverá ser gerada. A Figura 5 apresenta um exemplo da etapa de identificação dos vértices e a Figura 6 apresenta a criação da superfície, na qual os vértices em vermelho representam vértices dentro do contorno, os azuis representam vértices fora do contorno e os rosas são os pontos aproximados onde a superfície pode ser gerada.

Como cada cubo possui oito vértices e cada vértice pode assumir dois valores, existe um número limitado de configurações possíveis, $2^8 = 256$. Dessa forma, o algoritmo utiliza essa informação e cria uma tabela das possíveis configurações. Alguns exemplos podem ser vistos na Figura 7.

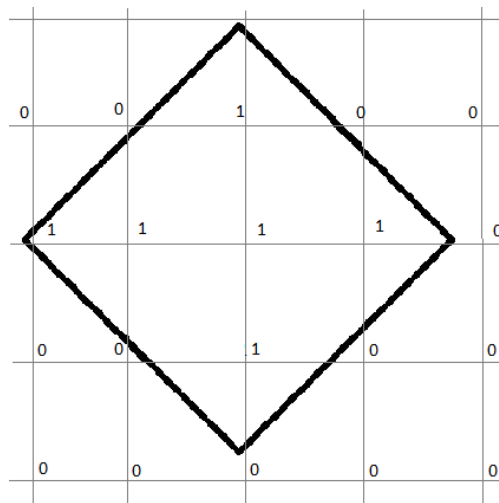


Figura 5. Exemplo de figura com vértices identificados

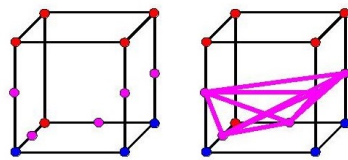


Figura 6. Geração de superfície [Anderson 2013].

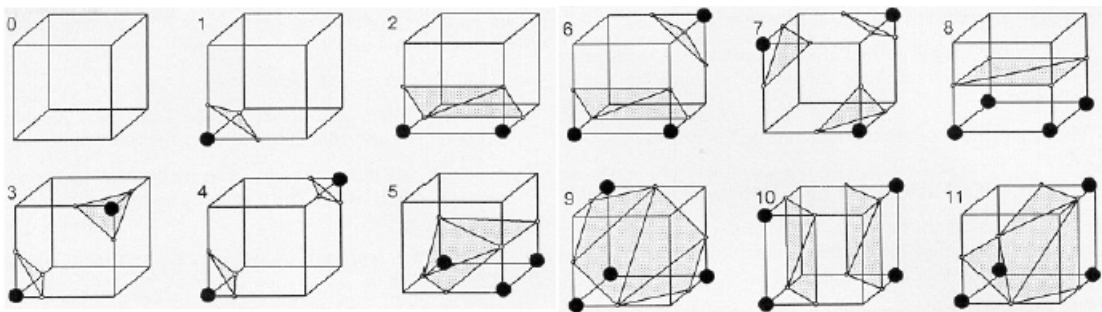


Figura 7. Configurações de superfícies [Lorensen e Cline 1987].

Huang et al. [2011] utilizam a biblioteca *Visualization ToolKit* (VTK), um *software* de código aberto que fornece uma plataforma orientada a objetos para renderização e visualização de imagens e modelos. Com o auxílio dessa ferramenta, os pesquisadores criam um *framework* para reconstrução de imagens médicas de um crânio, destacando em seu artigo o uso do *Marching Cubes* para a reconstrução de superfícies.

Já em Wang et al. [2008], é apresentada uma melhoria para o algoritmo, sendo chamado de *Special Marching Cubes* (SMC). Os autores apresentam uma forma de dar valores aos vértices de forma diferenciada, os vértices assumem valores “-1” se estiverem fora do contorno, “0” se estiverem em cima do contorno e “1” se estiverem dentro do contorno. De acordo com os autores, isso gerou uma diminuição no número de triângulos gerados e

no tempo de execução como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3. Dados obtidos na reconstrução utilizando SMC

<i>Método</i>	Número de Cubos	Número de Isosuperfícies	Tempo(s)
<i>MC</i>	163000	40826	182,5
<i>SMC</i>	163000	21094	65,4

O trabalho de Jin et al. [2006] mostra a utilização do método no processo de criação de um implante para cirurgia da estrutura laríngea e Ai et al. [2010] testam a ferramenta *Medical Imaging Toolkit* (MITK), utilizando o método de binarização para facilitar a reconstrução de imagens do fígado utilizando imagens de Tomografia Computadorizada.

Marcán et al. [2011] por sua vez utilizam o método *Marching Cubes* em um objeto empregado na calibração de máquinas de Ressonância Magnética, como mostra a Figura 8, podendo tirar medidas do objeto e da reconstrução para validar o modelo.

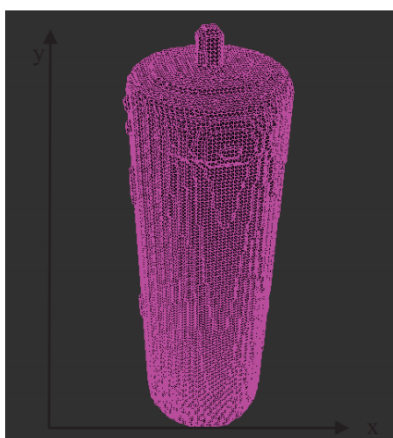


Figura 8. Objeto de calibração reconstruído [Marcán et al. 2011]

3.2. Ray Casting

O algoritmo *Ray Casting* utiliza a posição do observador em relação a cada *pixel* do plano e faz um “lançamento” de raios trespassando todos os *slices* a serem reconstruídos. O algoritmo assume que cada *voxel* possui transparência e brilho. Dessa forma, as imagens do *slice* 2D podem ser definidas pelos efeitos causados pela luz atravessando o objeto. Como é possível verificar no exemplo da Figura 9 o algoritmo obtém os dados em um raio, e no final adiciona pontos naquele raio que não presentes na imagem anterior.

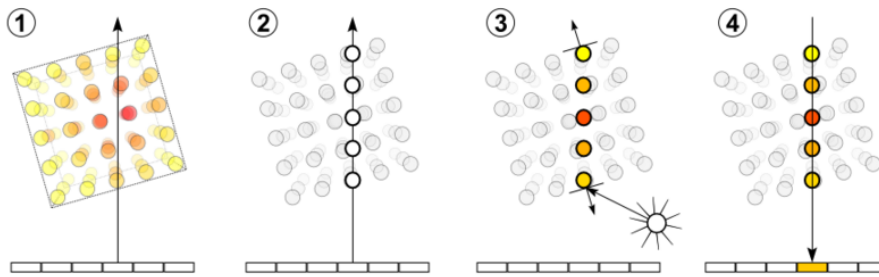


Figura 9. Ilustração dos passos do *Ray Casting* [OIDZ 2013]

Para coletar essas informações são utilizados cálculos de interpolação e estimação de gradiente, obtendo uma matriz de características. O algoritmo segue o pressuposto que aqueles dados obtidos na matriz são consistentes com todo o percurso do raio, inclusive os espaços entre *slices*, podendo criar uma aproximação da superfície de maneira a manter a consistência da matriz de características Ray et al. [1999].

Huang et al. [2011] desenvolveram um *framework* baseado na ferramenta VTK, que utilizou o método *Ray Casting* para a reconstrução volumétrica, apenas citando o uso em reconstrução de superfícies, mas utilizando *Marching Cubes* para reconstruí-la.

3.3. Tetraedralização 3D de Delaunay

A reconstrução utilizando o método de Delaunay pode ser dividida em três etapas. A primeira calcula a triangulação bidimensional do contorno; em seguida são mapeados os triângulos que formarão tetraedros e, por fim, os tetraedros que não pertencem ao objeto são apagados.

A triangulação está ligada ao diagrama de Voronoi, o qual representa cada vértice do contorno como uma célula de Voronoi. Essa célula contém todos os pontos mais próximos daquele vértice. O ponto de encontro de três células formam um vértice de Voronoi, sendo que cada vértice representa um triângulo de Delaunay que está posicionado no centro do círculo que circunscreve aquele triângulo. O encontro de uma aresta do diagrama com uma aresta de um triângulo deve ocorrer sempre no ponto médio da aresta do triângulo, como mostra a Figura 10.

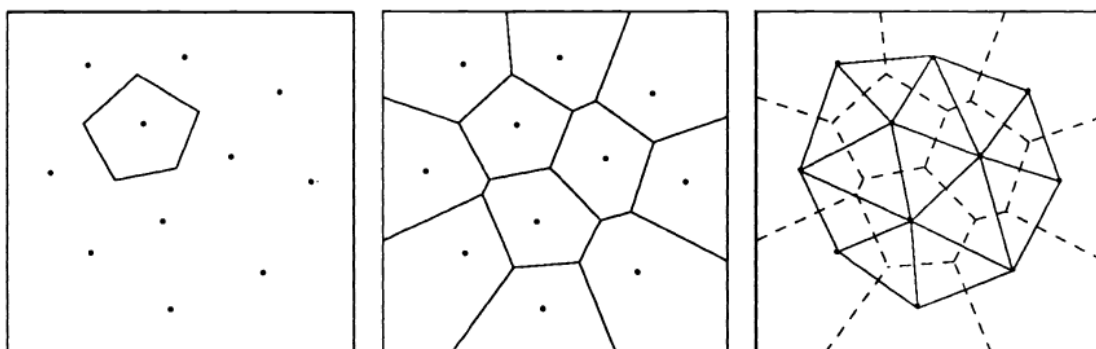


Figura 10. Célula de Voronoi (Esquerda); Diagrama de Voronoi (Centro); Triangulação de Delaunay (Direita) [Boissonnat e Geiger 1993]

Formalmente há um conjunto de pontos $A \in R^m$ o qual é decomposto em células m -dimensionais V tais que:

- cada célula contém um único ponto de A ;
- dado $x \in R^m$, $x \in V_i$ $d(x, x_i) \leq d(x, x_j)$, para todo $i \neq j$, onde d é a distância Euclidiana.

Após a triangulação, dois *slices*, P_1 e P_2 são unidos de tal forma que para cada triângulo $t \in P_1$ é conectado com o vértice $v \in P_2$ mais próximo do círculo que circunscribe o triângulo t .

Por fim é necessária a eliminação de dois tipos de tetraedros: aqueles que estão fora do contorno e aqueles que não possuem conexões concretas. A Figura 11 ilustra esses tipos de tetraedros.

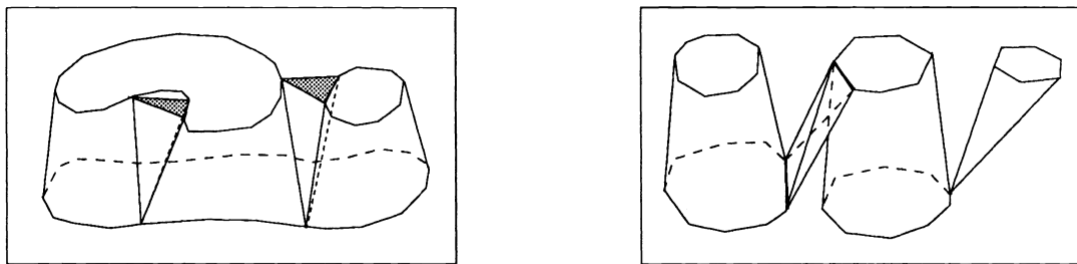


Figura 11. Tetraedro fora do contorno (Esquerda) e Tetraedro sem conexão concreta (Direita) [Boissonnat e Geiger 1993]

Archip et al. [2006] utilizam esse método para reconstruir de forma automática várias partes de anatomia humana, crânio, coluna vertebral e pélvis, como mostra a Figura 12. A Tabela 4 demonstra os resultados obtidos comparando a malha reconstruída através de Triangulação de Delaunay e uma segunda malha de validação obtida utilizando o método de Função de Base Radial, a qual, por sua vez, utiliza uma função de interpolação para criar uma malha implícita, e, em seguida, cria a malha triangular a partir da malha implícita.

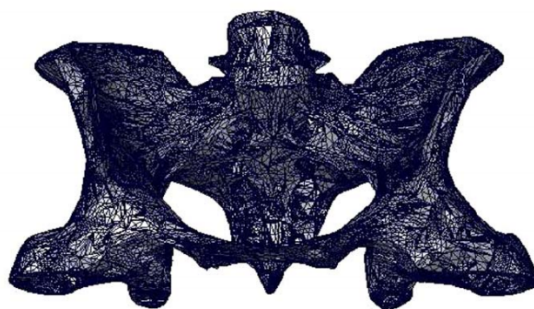


Figura 12. Pélvis reconstruída utilizando Tetraedralização 3D de Delaunay [Archip et al. 2006]

Tabela 4. Validação do modelo de superfície entre os métodos de Delaunay e de função básica radial (FBR)

<i>Estrutura</i>	Erro Max(mm)	Média de Erro(mm)	Erro FBR(mm)	tempo de execução FBR(s)
<i>Crânio</i>	2,18	0,14	0,25	184
<i>Pélvis</i>	1,27	0,17	0,30	180
<i>Coluna</i>	1,63	0,15	0,31	186
<i>Perna de um feto</i>	1,78	0,22	0,33	75
<i>Baço</i>	5,33	0,48	1,07	63

3.4. *One Class Support Vector Machine (OCSVM)*

O método *One Class Support Vector Machine (OCSVM)* é um método bastante específico, criado pelos autores Wang et al. [2007], para reconstruir tecidos cerebrais a partir de imagens provenientes de Ressonância Magnética.

Para alcançar o objetivo, as informações das imagens segmentadas são mapeadas para uma esfera. Como a quantidade de informações é alta é aplicada o método de *Support Vector Machine* para encontrar uma “esfera ótima”, que possua o mínimo de informação, porém necessária para a reconstrução de um modelo 3D de forma precisa. Os resultados alcançaram 95% de acurácia, de acordo com os autores. A Figura 13 apresenta um exemplo da estrutura reconstruída.

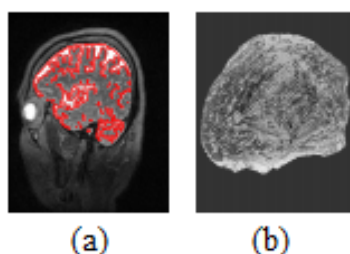


Figura 13. Reconstrução do tecido cerebral [Wang et al. 2007]: (a) *Slice* original destacando a estrutura que será reconstruída. (b) Tecido cerebral reconstruído.

4. Conclusão

Neste relatório foram apresentados a condução e os resultados de uma Revisão Sistemática, realizada com a finalidade de analisar diversos métodos envolvidas no processo de reconstrução de modelos tridimensionais. Foram apresentados também a implementação desses métodos e os resultados obtidos até o presente momento.

Em linhas gerais, pode-se dizer que a Revisão Sistemática foi eficiente por sistematizar o método de revisão bibliográfica e permitir melhorar o escopo da pesquisa.

Durante a revisão foi percebido que muitos artigos, principalmente os encontrados em bases de dados médicas não estavam disponíveis, o que levou a um alto índice de artigos excluídos em um primeiro momento.

Outro ponto observado foi que devido ao fato de já existirem métodos clássicos e bastante eficientes para a reconstrução 3D, muitos autores não especificavam o método utilizado, assumindo que o objeto já estaria reconstruído. Em geral o método do *Marching Cubes* foi o mais utilizado e os resultados indicam que ele é bastante eficiente e já vem sendo utilizado em alguns modelos médicos.

Esta pesquisa está envolvida em um projeto maior, de Mestrado, sobre Recuperação baseada em Conteúdo de Modelos 3D cardíacos, mais especificamente do ventrículo esquerdo. Dessa forma a partir das imagens fornecidas pelo Instituto do Coração de São Paulo, serão gerados os modelos 3D dos ventrículos para futuros testes com a recuperação destes modelos.

Referências

- ACM (2013). ACM Digital Library. <http://dl.acm.org/>. Acesso: 27 Março 2013.
- Aguiar, T. V. (2010). *Visualização da fronteira entre fluídos utilizando o método SPH e o algoritmo de Marching Cubes*. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro.
- Ai, H., Yang, C., Wu, S., Zeng, Y., e Bo, S. (2010). Automatic segmentation and 3D reconstruction of human liver based on CT image. Em *Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 2010 4th International Conference on*, páginas 1–4.
- Anderson, B. (2013). An implementantion of Marching Cubes algorithm. http://www.cs.carleton.edu/cs_comps/0405/shape/marching_cubes.htm. Acesso: 15 Maio 2013.
- Archip, N., Rohling, R., Dessenne, V., Erard, P.-J., e Nolte, L. P. (2006). Anatomical structure modeling from medical images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 82(3):203 – 215.
- Asghar, A., Agrawal, D., Yunus, S. M., Sharma, P. K., Zaidi, S. H., e Sinha, A. (2011). Standard splenic volume estimation in north indian adult population: Using 3D reconstruction of abdominal CT scan images. <http://www.hindawi.com/journals/ari/2011/707325/>. Acesso: 13 Abril 2013.
- Biolchini, J., Mian, P. G., Natali, A. C. C., e Travassos, G. H. (2005). Systematic review in software engineering. Technical report, System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ.
- Boissonnat, J.-D. e Geiger, B. (1993). Three-dimensional reconstruction of complex shapes based on the delaunay triangulation. Em *Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology. International Society for Optics and Photonics*, páginas 964–975.
- Chang, T.-C., Lee, J.-D., Huang, C.-H., Wu, T., Chen, C.-J., e Wu, S.-J. (2006). The diagnostic application of brain image processing and analysis system for ischemic stroke. Em *Proceedings of the Second international conference on Advances in Visual Computing - Volume Part II, ISVC'06*, páginas 31–38. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Chen, L. C., Huang, J. L., e Wang, C. R. (1999). Diagnosis of anomalous innominate artery syndrome by spiral CT with 3D reconstruction of the airway: report of one case. *Acta Paediatr Taiwan*, 40(2):124–127.
- Choi, E. Y., Yoon, Y. W., Kwon, H. M., Kim, D., Park, B. E., Hong, Y. S., Koo, J. S., Kim, T. H., e Kim, H. S. (2004). A case of pulmonary artery intimal sarcoma diagnosed with multislice CT scan with 3D reconstruction. *Yonsei Med. J.*, 45(3):547–551.

- Chu, S. A., Suvinen, T. I., Clement, J. G., e Reade, P. C. (2001). The effect of interocclusal appliances on temporomandibular joints as assessed by 3D reconstruction of MRI scans. *Aust Dent J*, 46(1):18–23.
- Costa, A. L., Yasuda, C. L., Appenzeller, S., Lopes, S. L., e Cendes, F. (2008). Comparison of conventional MRI and 3D reconstruction model for evaluation of temporomandibular joint. *Surg Radiol Anat*, 30(8):663–667.
- di Giulio, G. (2009). Medicina avança com com inovações de imagens. <http://www.conhecimentoeinovacao.com.br/materia.php?id=246>. Acesso 24 Junho 2013.
- Doyle, B. J., Morris, L. G., Callanan, A., Kelly, P., Vorp, D. A., e McGloughlin, T. M. (2008). 3D reconstruction and manufacture of real abdominal aortic aneurysms: from CT scan to silicone model. *J Biomech Eng*, 130(3):034501–034501.
- Duan, S. Y., Lin, Q. C., e Pang, R. L. (2004). Application of CT 3D reconstruction in diagnosing atlantoaxial subluxation. *Chin. J. Traumatol.*, 7(2):118–121.
- Farag, A., Elhabian, S., Abdelrahman, M., Graham, J., Farag, A., Chen, D., e Casanova, M. F. (2010). Surface modeling of the corpus callosum from MRI scans. Em *Proceedings of the 6th international conference on Advances in visual computing - Volume Part III*, ISVC'10, páginas 9–18, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Farres, M. T., Pedron, P., Gattegno, B., Haab, F., Tligui, M., Carette, M. F., e Bigot, J. M. (1998). Helical CT and 3D reconstruction of ureteropelvic junction obstruction: accuracy in detection of crossing vessel. *J Comput Assist Tomogr*, 22(2):300–303.
- Fout, N., Huang, J., e Ding, Z. (2005). Visualization of neuronal fiber connections from DT-MRI with global optimization. Em *Proceedings of the 2005 ACM symposium on Applied computing*, SAC '05, páginas 1200–1206, New York, NY, USA. ACM.
- Grimmer, R., Baek, J., Pelc, N., e Kachelriess, M. (2011). Frequency-combined extended 3D reconstruction for multiple circular cone-beam CT scans. Em *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), 2011 IEEE*, páginas 4089–4092.
- Guerrero, F. J., Masero, V., Leon-Rojas, J. M., e Moreno, J. (2005). Multilure active contours. Em *Proceedings of the 2005 ACM symposium on Applied computing*, SAC '05, páginas 247–254, New York, NY, USA. ACM.
- Guo, L., Li, Y., Miao, D., Yan, W., e Shen, X. (2010). 3D reconstruction of encephalic tissue in MRI image using immune sphere-shaped SVM. Em *Electromagnetic Field Computation (CEFC), 2010 14th Biennial IEEE Conference on*.
- He, F., Huang, H., Deng, Y. M., Wang, B., Zhang, C. Q., Zhao, Z., Tang, X. Z., Zhou, Z. W., e Zhao, X. L. (2007). Application of spiral CT image 3D reconstruction in severe talar neck fracture. *Chin. J. Traumatol.*, 10(1):18–22.
- Hong, L., Liang, Z., Viswambharan, A., Kaufman, A., e Wax, M. (1996). 3D reconstruction and visualisation of the inner surface of the colon from spiral CT data. Em *Nuclear Science Symposium, 1996. Conference Record., 1996 IEEE*, volume 3, páginas 1506–1510 vol.3.
- Hu, M., Penney, G., Figl, M., Edwards, P., Bello, F., Casula, R., Rueckert, D., e Hawkes, D. (2012). Reconstruction of a 3D surface from video that is robust to missing data and outliers: Application to minimally invasive surgery using stereo and mono endoscopes. *Medical Image Analysis*, 16(3):597 – 611.
- Hu, X. H., Huang, G. Y., Pa, M., Li, X., Wu, L., Liu, F., Jia, B., e Li, G. P. (2008). Multi-

- detector CT angiography and 3D reconstruction in young children with coarctation of the aorta. *Pediatr Cardiol*, 29(4):726–731.
- Huang, Y., Qiu, Z., e Song, Z. (2011). 3D reconstruction and visualization from 2D CT images. Em *IT in Medicine and Education (ITME), 2011 International Symposium on*, volume 2, páginas 153–157.
- IEEE (2013). IEEE Xplore Digital Library. <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso 27 Março 2013.
- Jin, G., Lee, S.-J., Hahn, J. K., Bielowicz, S., Mittal, R., e Walsh, R. (2006). 3D surface reconstruction and registration for image guided medialization laryngoplasty. Em *Proceedings of the Second international conference on Advances in Visual Computing - Volume Part I, ISVC'06*, páginas 761–770. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Kim, M., Huh, K. H., Yi, W. J., Heo, M. S., Lee, S. S., e Choi, S. C. (2012). Evaluation of accuracy of 3D reconstruction images using multi-detector CT and cone-beam CT. *Imaging Sci Dent*, 42(1):25–33.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic review. Technical Report TR/SE-0401, Keele University.
- Laurent, C. P., Jolivet, E., Hodel, J., Decq, P., e Skalli, W. (2011). New method for 3D reconstruction of the human cranial vault from CT-scan data. *Med Eng Phys*, 33(10):1270–1275.
- Li, Y., Wu, H.-Y., Zhuang, D., e Xing, Z.-L. (2012). Multidetector CT with 3D reconstruction for evaluation of diagnose and treatment in calcaneal fractures. Em *Information Technology in Medicine and Education (ITME), 2012 International Symposium on*, volume 2, páginas 718–721.
- Lorensen, W. E. e Cline, H. E. (1987). Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 21(4):163–169.
- Ma, X., Wang, J., e Ma, X. (2010). Full-scale 3D reconstruction contributes to micro-CT stereological assessments of osteoporotic proximal tibial cancellous bone in rats. Em *Computer Design and Applications (ICCD), 2010 International Conference on*, volume 2, páginas V2–343–V2–345.
- Mahdian, N., Dostalova, T., Danek, J., Nedoma, J., Kohout, J., Hubacek, M., e Hlinakova, P. (2013). 3D reconstruction of TMJ after resection of the cyst and the stress-strain analyses. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 1(0):1.
- Maher, M. M., Kalra, M. K., Sahani, D. V., Perumpillichira, J. J., Rizzo, S., Saini, S., e Mueller, P. R. (2004). Techniques, clinical applications and limitations of 3D reconstruction in CT of the abdomen. *Korean J Radiol*, 5(1):55–67.
- Marcan, M., Pavliha, D., Fuckan, I., e Matovinovic, H. (2011). Accuracy assessment of method for 3D reconstruction of phantoms based on MRI images. Em *MIPRO, 2011 Proceedings of the 34th International Convention*, páginas 1699–1702.
- Mitton, D., Zhao, K., Bertrand, S., Zhao, C., Laporte, S., Yang, C., An, K. N., e Skalli, W. (2008). 3D reconstruction of the ribs from lateral and frontal X-rays in comparison to 3D CT-scan reconstruction. *J Biomech*, 41(3):706–710.
- Mortele, K. J., McTavish, J., e Ros, P. R. (2002). Current techniques of computed tomography. Helical CT, multidetector CT, and 3D reconstruction. *Clin Liver Dis*, 6(1):29–52.
- OIDZ (2013). Open Inventor Developer Zone. <http://http://oivdoc92.vsg3d.com/content/151-volume-rendering-overview>. Acesso 20 Março 2013.

- Olamaei, N., Cheriet, F., e Martel, S. (2012). 3D reconstruction of microvasculature in MRI using magnetic microparticles. Em *Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA), 2012 11th International Conference on*, páginas 490–495.
- Perkins, S. e Marais, P. (2006). Identification and reconstruction of bullets from multiple X-rays. Em *Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa, AFRIGRAPH '06*, páginas 117–126, New York, NY, USA. ACM.
- PubMed (2013). US National Library of Medicine. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>. Acesso: 30 Março 2013.
- Ray, H., Pfister, H., Silver, D., e Cook, T. (1999). Ray Casting architectures for volume visualization. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 5(3):210–223.
- Science Direct (2013). Science Direct. <http://www.sciencedirect.com/>. Acesso: 1 Maio 2013.
- Shibata, T., Matsumoto, S., e Nagano, T. (1999). Tomograms of the arterial system of the human fetal auditory apparatus obtained by very-high-resolution microfocus X-ray CT and 3D reconstruction. *Kaibogaku Zasshi*, 74(5):545–553.
- Summerlin, A. L., Lockhart, M. E., Strang, A. M., Kolettis, P. N., Fineberg, N. S., e Smith, J. K. (2008). Determination of split renal function by 3D reconstruction of CT angiograms: a comparison with gamma camera renography. *AJR Am J Roentgenol*, 191(5):1552–1558.
- Wang, H., Luo, F., e Jiang, J. (2008). 3D reconstruction of CT images based on isosurface construction. Em *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2008 International Conference on*, volume 2, páginas 55–59.
- Wang, L., Xu, G., Guo, L., Liu, X., e Yang, S. (2007). 3D reconstruction of head MRI based on one class support vector machine with immune algorithm. Em *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, páginas 6015–6018.
- Wood, Z., Hoppe, H., Desbrun, M., e Schröder, P. (2004). Removing excess topology from isosurfaces. *ACM Trans. Graph.*, 23(2):190–208.
- Yao, S., Li, J. Y., Liu, F. D., e Pei, L. J. (2012). Significance of measurements of herniary area and volume and abdominal cavity volume in the treatment of incisional hernia: application of ct 3d reconstruction in 17 cases. *Comput. Aided Surg.*, 17(1):40–45.
- Zhang, X. Q., Shirato, H., Aoyama, H., Ushikoshi, S., Nishioka, T., Zhang, D. Z., e Miyasaka, K. (2003). Clinical significance of 3D reconstruction of arteriovenous malformation using digital subtraction angiography and its modification with CT information in stereotactic radiosurgery. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 57(5):1392–1399.
- Zhang, Y., Zhou, Y., Yang, X., Tang, P., Qiu, Q., Liang, Y., e Jiang, J. (2013). Thin slice three dimensional (3D) reconstruction versus CT 3D reconstruction of human breast cancer. *Indian J. Med. Res.*, 137(1):57–62.

Apêndice A. Protocolo da Revisão Sistemática

Protocolo da Revisão Sistemática

- **Objetivo:** Identificar e analisar as técnicas existentes de reconstrução de imagens tridimensionais aplicadas a imagens médicas.

- **Questão da revisão:** Quais são as técnicas existentes para reconstrução de imagens médicas?
- **Bases de Artigos Utilizadas:**
 - ACM [ACM 2013]
 - IEEE [IEEE 2013]
 - Science Direct [Science Direct 2013]
 - PubMed [PubMed 2013]
- **Critério de Seleção:** Artigos devem estar disponíveis na web.
- **Línguas dos Artigos:** Português e Inglês
- **Palavras-Chave:**
 - ACM: (*Abstract:3D and Abstract:Reconstruction*) and (*Abstract:MRI or Abstract:CT*)
 - IEEE: (*"Document Title":"3D Reconstruction"AND ("Document Title":MRI OR "Document Title":CT)*)
 - Science Direct: *TITLE-ABSTR-KEY("3D Reconstruction"medical models) and TITLE-ABSTR-KEY(method AND NOT segmentation)*
 - PubMed (*"3D Reconstruction"[Title] AND (MRI[Title] OR CT[Title]) AND ((English[lang] OR Portuguese[lang]))*)

Crítérios de inclusão:

- I1: Artigos que implementem ou apresentem métodos de reconstrução de imagens médicas
- I2: Artigos com foco em Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada
- I3: Artigos que implementem métodos utilizando as ferramentas VTK ou OpenGL

Crítérios de exclusão:

- E1: Artigos que não estão disponíveis integralmente nas bases de dados
- E2: Artigos que não utilizem Ressonância Magnética ou Tomografia Computadorizada
- E3: Artigos que não implementem ou apresentem métodos de reconstrução de imagens médicas
- E4: Artigos que utilizem angiografia
- E5: Artigos que não são da área médica
- E6: Artigos que não estão em inglês ou português
- E7: Artigos que não são *full paper* ou *short paper* (pôsteres, tutorias, relatórios técnicos ou demos por exemplo)
- E8: Artigos que utilizem ressonância magnética de tensão de difusão