

# Modelo Sólido Animado do Pulmão Construído a Partir de Sequências Não Síncronas de Images de RM

**Paulo H. Chixaro**, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, e-mail: [phchixaro@yahoo.com.br](mailto:phchixaro@yahoo.com.br)

**Fábio K. Takase**, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, e-mail: [ftakase@usp.br](mailto:ftakase@usp.br)

**Marcos de S. G. Tsuzuki**, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da USP, e-mail: [mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

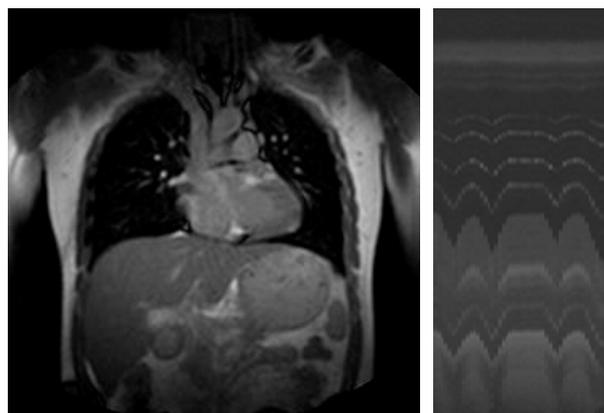
## Introdução

Este trabalho trata de um método de reconstrução do pulmão em 3D animado a partir de sequências de imagens de RM (Ressonância Magnética) não sincronizadas. O pulmão diferentemente do coração não permite a observação de seus movimentos de forma direta. A visualização do pulmão em movimento é um tópico atual de pesquisa em biomedicina. Por meio de TC (Tomografia Computadorizada) é possível obter imagens tridimensionais do pulmão, mas o efeito da radiação impossibilita a sua aplicação para obtenção de animações tridimensionais. A RM envolve maiores tempos de aquisição quando comparada a TC, não sendo possível obter imagens tridimensionais diretas do pulmão (Gierarda et al., 1995). Pela RM, obtém-se sequências temporais 2D do pulmão. As sequências de imagens 2D obtidas não estão sincronizadas entre si pelo fato do movimento pulmonar estar sujeito a variações de velocidade e intensidade da respiração.

## Conhecimentos Básicos

As imagens obtidas por RM apresentam artefatos produzidos pelo bombeamento do sangue pelo coração. Este fato impede que os atuais algoritmos de processamento de imagens sejam utilizados nestas imagens. Nesta proposta, a sequência de imagens será analisada como um todo, pois o movimento pulmonar é contínuo, não apresentando saltos. Assim, imagens onde o contorno do pulmão for mais facilmente determinado auxiliam para que o contorno também seja determinado mesmo em imagens que possuem artefatos.

Será identificada uma função respiração presente nas imagens espaço-temporais como exibidas na Fig. 1 à direita. É possível



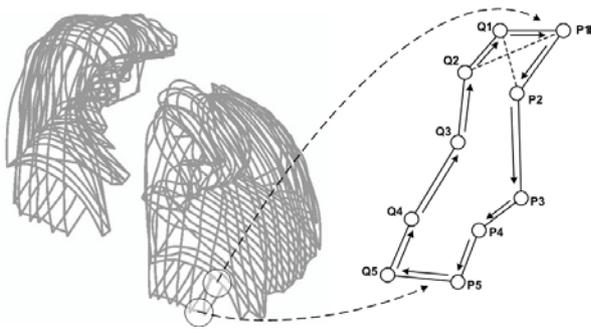
**Figura 1. Imagem de RM da caixa torácica e uma imagem espaço-temporal.**

observar que a imagem não parece ser contínua, devido à presença de artefatos. A silhueta do pulmão é determinada manualmente por meio de curvas de Bézier concatenadas em uma imagem da sequência. A função respiração associada à sequência de imagens em análise é identificada, e considerando que o pulmão se movimenta de forma síncrona, determina-se a escala e o ângulo mais apropriado para o movimento dos pontos que definem a silhueta do pulmão.

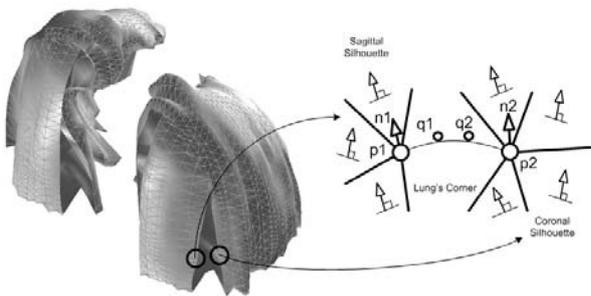
## Composição de Silhuetas

O resultado vindo da análise bidimensional é um conjunto de silhuetas movimentando-se no tempo. Embora todas pertençam ao mesmo pulmão, cada sequência de silhuetas possui sua particular velocidade e intensidade de respiração. Temos sequências de silhuetas sagitais e coronais, ortogonais entre si.

A reconstrução do pulmão 3D é feita para cada uma das sequências de silhuetas obtidas. As silhuetas são compostas utilizan-



**Figura 2. Estrutura fio-de-aramé ilustrando a composição de silhuetas e o algoritmo para triangularizar a estrutura fio-de-aramé.**



**Figura 3. Pulmões esquerdo e direito criados com sua malha, restando definir os seus cantos. O canto será criado a partir de curvas suavizadoras de Bézier.**

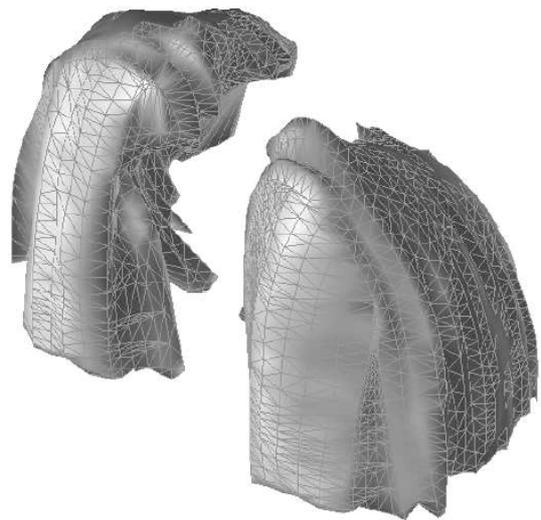
do-se de algoritmos de registro de silhuetas ortogonais: sagitais e coronais.

Algumas suposições são feitas para realizar o registro: o paciente pode ter se movimentado durante a aquisição, e a superfície diafragmática deve ser o mais suave possível.

A composição de silhuetas ocorre considerando-se uma silhueta como guia e procura-se por silhuetas ortogonais que se encaixem com a silhueta guia escolhida para comporem um pulmão 3D. Foram consideradas duas possibilidades de composição de silhuetas: considerando-se como guia sequências de silhuetas coronais ou sagitais. Assim, foram estudados no total quatro métodos de composição de silhuetas. A Fig. 2 ilustra um exemplo de estrutura fio-de-aramé obtida pelo algoritmo.

### **Criação do Modelo Sólido B-Rep**

Agora é necessário criar um modelo sólido do pulmão, para uma dada coleção de silhuetas planares. Como primeiro passo silhuetas adjacentes são registradas procurando-se por vértices com maior curvatura e se dois deles forem próximos o suficiente ele serão



**Figura 4. Pulmões esquerdo e direito renderizados e triangularizados.**

conectados. A Fig. 2 ilustra silhuetas conectadas em vértices registrados. Após o registro, a malha de triângulos é criada determinando-se vértices que estejam mais próximos entre si.

Entretanto, resta criar o canto do pulmão, pois as sequências de imagens de RM não possuem informações sobre eles. Assim, foi modelada uma superfície que suaviza os cantos do pulmão. Para este fim foram criadas curvas suavizadoras de Bézier. A Fig. 3 ilustra o modelo sólido parcialmente criado.

### **Comentários finais**

Os pulmões direito e esquerdo 3D foram criados baseando-se em sequências de imagens de RM não síncronas. É possível reconhecer diversas características do pulmão no modelo tridimensional (veja Fig. 4). Este trabalho preliminar permite compreender a complexidade do problema. Como os pulmões estão divididos em lóbulos, estamos aplicando o mesmo algoritmo para determinar a superfície interlobular dos pulmões e acreditamos ser possível observar a superfície interlobular tridimensional em movimento. Com este método, já é possível calcular o volume de cada um dos pulmões (esquerdo e direito) em movimento.

### **Referências bibliográficas**

D. S. Gierada, J. J. Curtin, S. J. Erickson, R. W. Prost, J. A. Strandt, L. R. Goodman. "Diaphragmatic Motion: Fast Gradient-Recalled-Echo MR Imaging in Healthy Subjects", *Radiology*, Vol. 194, Number. 3, pp. 879-884, 1995.