

Visualização de Dados Cardiovasculares Tridimensionais em Ambientes Imersivos

Rodrigo L. S. Silva, Paulo G. P. Ziemer, Pablo J. Blanco, Raul A. Feijóo
LNCC – Laboratório Nacional de Computação Científica

Resumo. O objetivo deste trabalho é analisar as possibilidades de visualização de dados em simulação de sistemas cardiovasculares 3D utilizando recursos de Realidade Virtual. Uma das motivações para esse trabalho é o aumento na incidência das doenças cardiovasculares nos últimos anos. Ferramentas que auxiliem na modelagem, simulação e visualização dos resultados são necessárias para um melhor entendimento desse tipo de doenças e suas respectivas formas de tratamento. Com o intuito de reunir ferramentas que auxiliem no tratamento desses problemas surgiu o HeMoLab – Laboratório de Modelagem em Hemodinâmica. O Hemolab é um sistema computacional que permite a criação de modelos personalizados do sistema cardiovascular humano.

Palavras-chave: Hemodinâmica, realidade virtual, sistemas imersivos.

Abstract. The main objective of this work is to analyze the possibilities of data visualization of 3D cardiovascular simulations using Virtual Reality resources. One of the main motivations is the increase of cardiovascular diseases in the last years. Tools that aid the modeling, simulation and visualization of these results are necessary for a better understanding of these diseases and its respective ways of treatment. With the intention of joining tools to aid the treatment of these diseases, the Hemolab was created. Hemolab is a computer system that allows the creation of personalized models of the cardiovascular human system.

Keywords: Hemodynamics, virtual reality, immersive systems.

Introdução

Novas técnicas para o tratamento de doenças cardiovasculares têm sido investigadas devido ao constante crescimento da incidência desses tipos de doenças nos últimos anos. A complexidade destas novas técnicas requer o uso de métodos que permitam prever com aceitável grau de precisão o resultado destes tipos de intervenções ao serem aplicadas em diferentes pacientes. A modelagem 3D do Sistema Cardiovascular Humano (SCVH) tem por objetivo estudar com alto grau de detalhe as características da dinâmica do fluxo sanguíneo e como estas características são modificadas ao se aplicar estas intervenções em pacientes reais em determinadas regiões do sistema arterial. A princípio, qualquer região do sistema arterial pode ser representada em detalhes aproveitando informações específicas do paciente como imagens médicas da área de interesse. Casos particulares como a existência de singularidades geométricas

(aneurismas, estenoses, bifurcações, etc.) podem ser considerados a fim de se estudar alterações locais na estrutura do fluxo sanguíneo e de dar informações mais completas de forma quantitativa [1][2]. Neste caso, é fundamental que as geometrias de interesse consigam representar fielmente a anatomia do paciente.

Depois da criação do modelo 3D referente à área de interesse, é necessário estabelecer às condições de contorno e definir as propriedades mecânicas da parede arterial e do sangue nesta região. Esses passos são necessários para que se possam calcular as soluções numéricas das equações transientes não lineares que governam o problema. Para obter resultados de qualidade nas simulações numéricas, as malhas de elementos finitos devem ser refinadas e processadas para que a sua resolução espacial permita capturar com suficiente nível de detalhe as características de interesse do fluxo sanguíneo [3].

O objetivo deste artigo é demonstrar como ambientes de Realidade Virtual podem ser utilizados para a visualização de estruturas do sistema cardiovascular humano. A utilização de técnicas de visualização científica aliada aos ambientes de realidade virtual imersivos e não imersivos adicionam uma nova dimensão em como os dados da simulação do sistema cardiovascular humano podem ser analisados.

Trabalhos relacionados

Em [4] foi implementado um sistema que oferece a possibilidade de visualização interna e externa de um coração tridimensional. Na visão externa, a câmera e o foco permanecem fixos, enquanto o objeto se move em frente ao usuário, enquanto na visão interna o usuário pode navegar pelas estruturas. Neste sistema é possível visualizar distâncias entre segmentos, o comprimento desses segmentos etc. Este sistema de visualização auxilia o usuário identificar áreas potencialmente problemáticas do coração que está sendo visualizado.

Um sistema para visualização de árvores cardiovasculares foi proposto em [5]. Este artigo se difere do anterior por enfatizar nos dispositivos disponíveis para navegação no ambiente virtual como *joysticks* convencionais para jogos. Estes dispositivos têm como vantagem o baixo custo e vasta disponibilidade no mercado.

Um sistema imersivo para visualização de artérias coronárias foi apresentado em [6]. Neste sistema foi apresentado um protótipo capaz de visualizar dados gerados através de simulações numéricas. O sistema fornece um mecanismo para exploração dos efeitos resultantes de mudanças na geometria e no fluxo para permitir identificar potenciais fontes de futuras lesões. A interação do sistema pode ser realizada através de voz e gestos.

A ferramenta proposta nesse trabalho tem o diferencial de prover funcionalidades que permitem integrar modelos unidimensionais e tridimensionais em um mesmo ambiente de trabalho, denominado *Hemolab* [7]. Neste ambiente são integradas ferramentas que permitem a edição e criação de modelos unidimensionais, processamento de imagens médicas para extração de geometrias de artérias, geração de modelos de elementos finitos tridimensionais, e acoplamento entre modelos de diferentes dimensões, os quais utilizam o *pipeline* de processamento fornecido pelo *ParaView* [8].

Neste trabalho, serão demonstradas as funcionalidades deste sistema para geração de arquivos que podem ser utilizados em ambientes do tipo CAVE [9] e será demonstrada também a possibilidade de uso desse sistema utilizando múltiplos monitores com computação distribuída.

Geração dos modelos tridimensionais

As ferramentas e funcionalidades de visualização descritas neste trabalho fazem parte de um sistema computacional que permite a geração e análise de modelos do sistema cardiovascular humano chamado *Hemolab*. Este sistema computacional é composto de vários módulos: módulo 1D (geração de árvores arteriais 1D), módulo de processamento de imagens, módulo 3D e módulo de acoplamento. Todos os módulos foram implementados em C++ utilizando a biblioteca VTK [10] para criação e processamento dos filtros.

A criação dos modelos 3D é feita a partir de imagens médicas, em geral no formato DICOM, propiciando ao sistema a funcionalidade de realizar análises em pacientes específicos. Essas imagens são processadas, filtradas e segmentadas, como mostra o *pipeline* da Figura 1.

A simulação do fluido nas áreas de interesse é realizada através de um modelo acoplado 1D-3D e de um software de resolução numérica de elementos finitos. A formação do modelo acoplado 1D-3D consiste em encaixar o modelo 3D descrito anteriormente dentro de um modelo 1D simplificado do sistema arterial. As entradas e saídas do modelo 3D são acopladas à suas contra-partes no modelo 1D. Modelos acoplados são necessários nesse contexto devido à impossibilidade computacional de simular modelos 3D completos do sistema arterial.

O software de resolução numérica utilizado neste trabalho é o SolverGP [11]. O SolverGP é um software para resolução numérica das equações de *Navier-Stokes* aplicadas a modelos acoplados 3D - 1D deformáveis, com discretização espacial das equações via Método dos Elementos Finitos. As equações de *Navier-Stokes* são equações diferenciais que descrevem o escoamento de fluidos incompressíveis, permitindo calcular os campos de velocidade e de pressão em toda a região do espaço de interesse.

Apesar de todos os módulos trabalharem de forma integrada, o intuito deste trabalho é explorar apenas as funcionalidades de visualização oferecidas pelo módulo 3D.

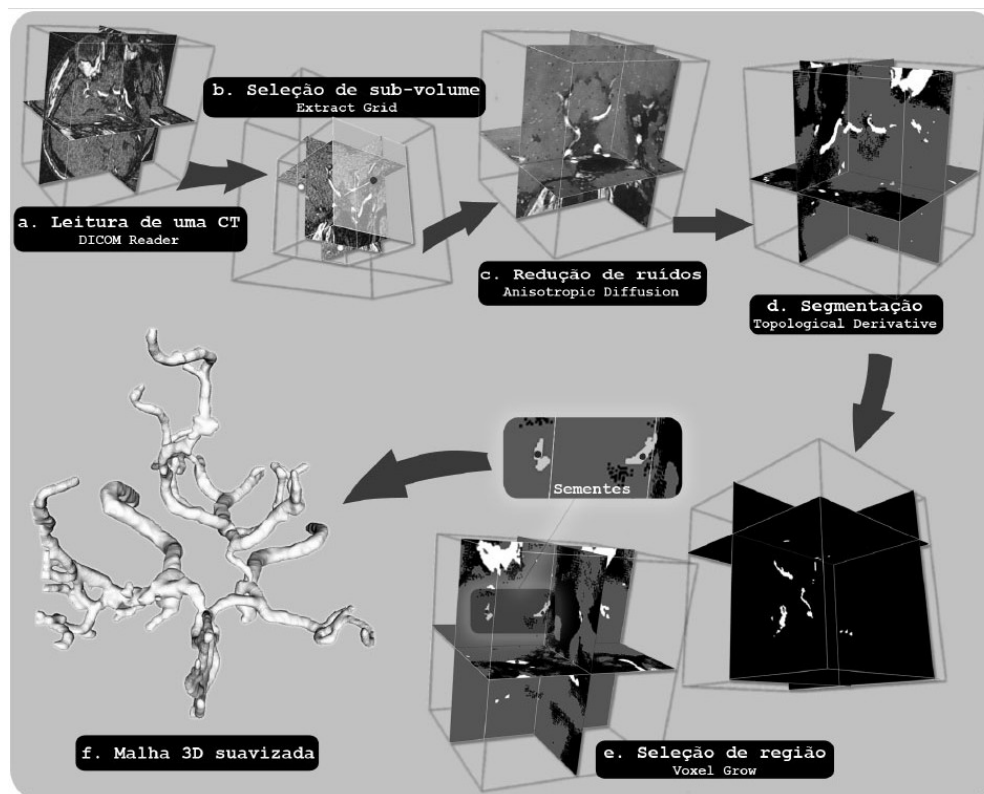


Figura 1: Geração do modelo 3D a partir de imagens médicas.

Métodos imersivos para visualização

Foram adicionadas ao *Hemolab* ferramentas que permitem a visualização dos modelos tridimensionais gerados pelo módulo 3D de forma imersiva. Serão apresentados nesse trabalho exemplos de visualização estéreo com múltiplos monitores e visualização estéreo em ambientes CAVE.

Múltiplos monitores em estéreo

A primeira metodologia imersiva disponibilizada no *Hemolab* foi a possibilidade de visualizar os modelos gerados em múltiplos monitores em modo estéreo. Nessa modalidade, cada monitor utilizado é controlado por uma máquina distinta, tendo o sistema à responsabilidade de distribuir e sincronizar os dados entre as máquinas para que transformações geométricas como translação, escala e rotação possam ser realizadas da mesma forma como em um sistema convencional com um único monitor. Para que a sincronização possa ser feita, é necessário que haja uma máquina denominada *master* responsável pela configuração dos arquivos que serão utilizados durante a visualização. Existe

um segundo grupo de máquinas denominadas *slaves*. Essas máquinas conectam-se à máquina *master* que distribui os quadrantes de visualização correspondentes para cada máquina. Esses quadrantes são definidos nos arquivos de configuração contidos na máquina *master*. Foram utilizados os modos de visualização estéreo disponíveis no VTK [10], mas testou-se efetivamente apenas a visualização através de anáglifos.

Na Figura 2.a e 2.b são apresentados exemplos de visualização de uma estrutura 3D em múltiplos monitores. A Figura 3 apresenta a visualização deste mesmo modelo em 3 monitores. Estes dados são os resultados obtidos das simulações computacionais.

CAVE

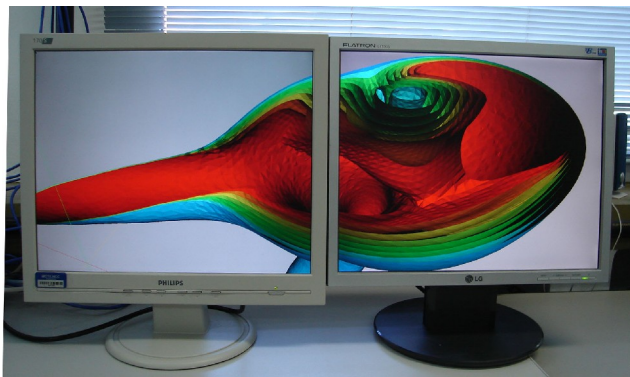
Outra possibilidade de visualização imersiva para o nosso sistema é através do uso de ambientes CAVE [9]. Nesses ambientes, o usuário tem a sensação de estar dentro do modelo 3D podendo fazer uma análise mais rica das estruturas ali presentes.

Sistemas CAVE são, em linhas gerais, pequenas salas onde as paredes agem como monitores

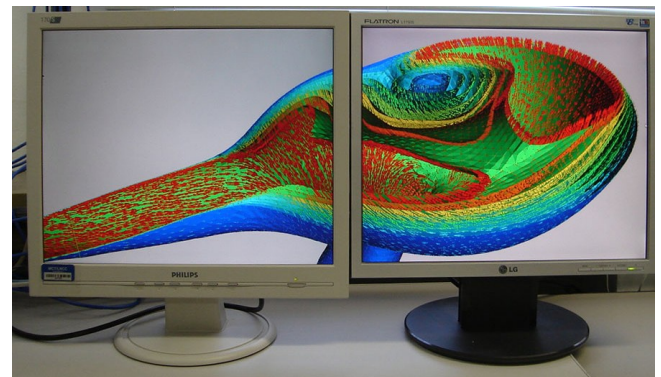
gigantes. Essas paredes fornecem ao usuário um amplo campo de visão, muito superior aos monitores convencionais. Geralmente em ambientes CAVE é necessário o uso de óculos 3D para fornecer visão em estéreo. As paredes do CAVE são retro-projetadas e são necessários um ou mais computadores interligados para controlar todo o sistema criando desta forma um ambiente virtual coeso.

Para a validação deste protótipo foi utilizado um CAVE de baixo custo com a seguinte configuração: 3 telas Stewart Disney Black para projeção por trás de 2,46 m de altura por 1,85 m de largura e uma tela Silver Screen, para projeção por cima de 1,85 m

largura por 1,38 m de altura; 4 espelhos de metal polido; 8 filtros de luz para polarização circular (4 sentido horário e 4 sentido anti-horário); 8 projetores convencionais NEC LT245, com resolução de 1024x768 pixels e 85 hertz; 5 computadores com processador Intel Pentium D, 2GBytes de memória RAM, placa de rede Gigabit Ethernet, placa de vídeo NVIDIA 8800 GTX com 768MBytes e 1 switch gigabit D-Link DGS-1024D. As figuras 4.a, 4.b, 4.c, 4.d, 4.e e 4.f apresentam o resultado da visualização de várias estruturas cardiovasculares neste ambiente. Como dito, estes dados são obtidos a partir de imagens médicas e por meio de simulações computacionais.



(a)



(b)

Figura 2: Visualização de um recorte sobre um aneurisma em múltiplos monitores. Em (a) visualização com isosuperfícies e em (b) isosuperfícies com *glyphs*.

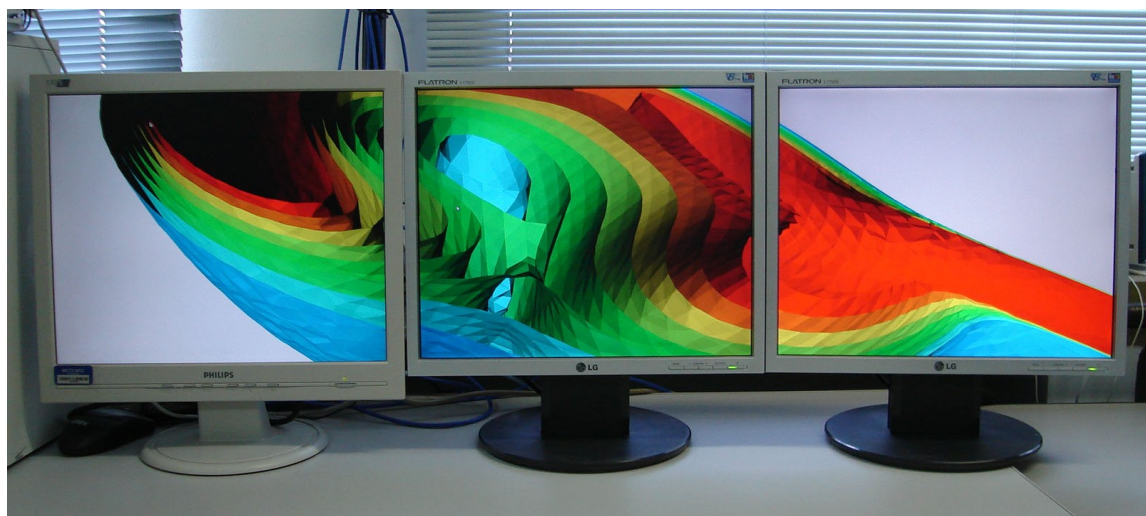
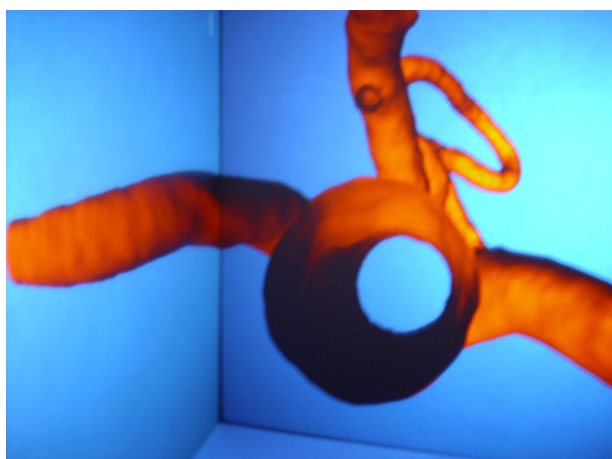
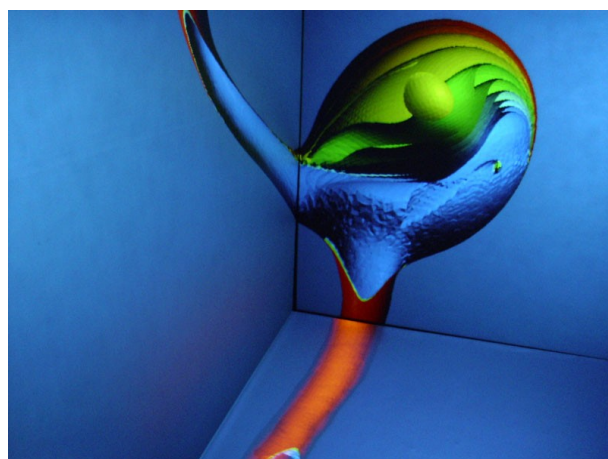


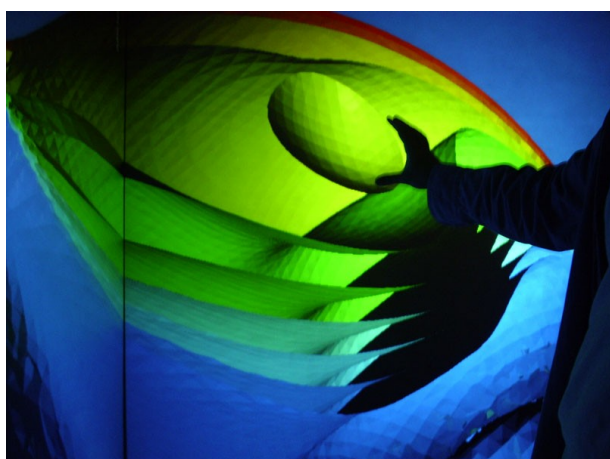
Figura 3: Visualização de um recorte sobre um aneurisma em 3 monitores.



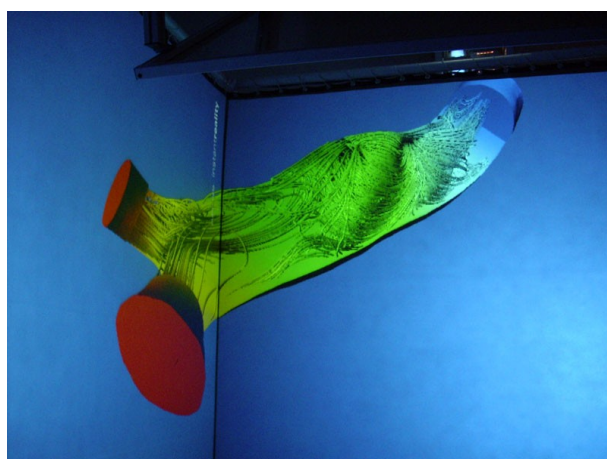
(a)



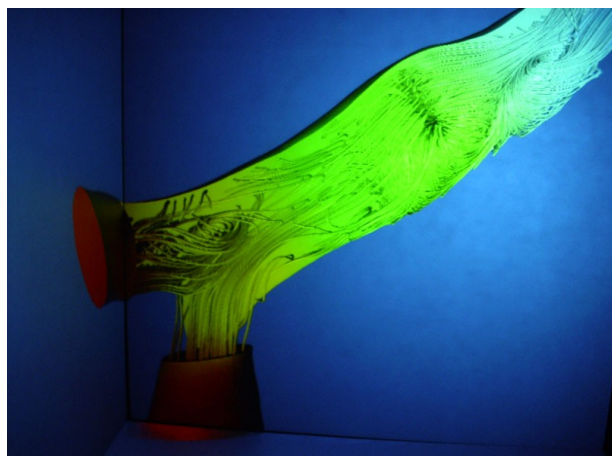
(b)



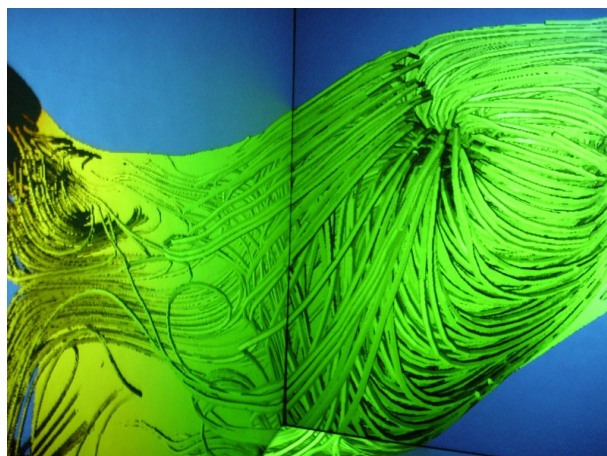
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4: Visualização de modelos 3D processados pelo Hemolab no CAVE.

Discussão e Conclusões

O uso de ferramentas de predição por profissionais de medicina e biologia tem grande importância na atualidade. A grande quantidade de problemas relacionados ao SCVH foi a motivação para a criação do *Hemolab*, uma ferramenta que permite a criação de modelos personalizados do sistema cardiovascular. Esta ferramenta foi desenvolvida sobre o *ParaView*, um software multiplataforma de visualização científica que utiliza computação paralela para processar grandes volumes de informação.

O presente artigo descreve as possibilidades de visualização do Módulo 3D. Pode-se utilizar sistemas imersivos para auxiliar na tomada de decisões e para fazer uma análise mais criteriosa dos resultados obtidos das simulações computacionais do sistema cardiovascular humano. Acredita-se que a utilização desta ferramenta no ambiente médico poderá fornecer informações mais precisas e valiosas na realização de diagnósticos e no planejamento cirúrgico.

Todo o potencial de visualização do sistema discutido pode ser utilizado diretamente com múltiplos monitores. Contudo, a visualização em CAVEs ainda apresenta limitações. Não é possível por exemplo exportar animações para esse ambiente, sendo esse um dos trabalhos futuros referentes a esse artigo.

Referências

- [1] Silva, R., Camargo, E., Blanco, P.J., Pivello, M., Feijóo, R. An Interactive Tool To Model Virtual Abdominal and Cerebral Aneurysms, WIM – VIII Workshop de Informática Médica – Belém do Pará (PA) – Brasil – 2008.
- [2] Silva, R., Camargo, E., Blanco, P.J., Pivello, M., Feijóo, R. Virtual Modeling and Numerical Simulation of Aneurysms and Stenoses, SVR – X Symposium on Virtual Reality and Augmented Reality – João Pessoa (PB) – Brasil – 2008.
- [3] Silva, R., Palach, J., Larrabide, I., Feijóo, R. Ferramentas para geração de modelos 3D do Sistema Cardiovascular Humano, WIM – VII Workshop de Informática Médica - Porto de Galinhas (PE) – Brasil – 2007.
- [4] Moritz, E., Wischgoll, T., and Meyer, J, The Vasculature of the Heart: An Interactive Guided Tour. SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH Posters, 2004.
- [5] Wischgoll, T, Moritz, E., Meyer, J, Force-Feedback-Enhanced Navigation for Interactive Visualization of Coronary Vessels. VIS '04: Proceedings of the conference on Visualization '04, Outubro, 2004.
- [6] Andrew S. Forsberg, David H. Laidlaw, Andries van Dam, Robert M. Kirby, George E. Karniadakis, Jonathan L. Elion. Immersive virtual reality for visualizing flow through an artery. VIS '00: Proceedings of the conference on Visualization '00. Outubro, 2000.
- [7] HeMoLab – Hemodynamic Laboratory. <http://hemolab.lncc.br>.
- [8] Kitware Inc. ParaView. <http://www.paraview.org>.
- [9] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti T. A., Kenyon R. V. e Hart J. C. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. Commun.ACM, 35(6):64–72, 1992.
- [10] VTK – The Visualization Toolkit. <http://www.vtk.org>.
- [11] Urquiza, S.A. and Vénere, M.J. An application framework architecture for fem and other related solvers. In S.R.Idelsohn, V.E.Sonzogni, and A.Cardona, editors, Mecánica Computacional, volume 22, pages 3099–3109, Santa Fé - Paraná , Argentina, October 2002.

Contato

Rodrigo Luis de Souza da Silva
Pós-doutorado em Ciência da Computação
MCT/LNCC
rodrigo@lncc.br
(24) 9256-3040