

Instituto de Ciências Matemáticas e Computação – ICMC
Universidade de São Paulo – USP

Trabalho

Visualização Exploratória de Volumes de Dados Multimodais Apoiada por Técnicas de Projeção Multidimensional

Disciplina: Visualização Computacional
Professora: Rosane Minghim
Aluno: Thiago Silva Reis Santos

São Carlos, Novembro de 2010

Sumário

Instituto de Ciências Matemáticas e Computação – ICMC.....	1
Universidade de São Paulo – USP.....	1
Trabalho.....	1
Visualização Exploratória de Volumes de Dados Multimodais Apoiada por Técnicas de Projeção Multidimensional.....	1
São Carlos, Novembro de 2010.....	1
1. Introdução.....	3
2. Registrar.....	4
3. visualização volumétrica de dados multimodais.....	5
3.1. visualização volumétrica.....	5
3.1.1. Função de transferência.....	7
3.1.1.1. Função de Transferência de Opacidade.....	7
3.1.1.2. Função de Transferência de Cor.....	8
3.2. visualização de volumes multimodais.....	8
3.2.1. Linked Feature Display.....	9
3.2.2. Spectral Volume Rendering.....	9
4. Projeção multidimensional.....	10
5. Visualização de dados variantes no tempo.....	12
6. Referências.....	15

1. INTRODUÇÃO

Embora a visualização científica seja uma área de pesquisa recente, ela tem ganhado cada vez mais prestígio e agregado cada vez mais pesquisadores. Dentre os diversos motivos pelos quais tal corrente científica vem crescendo, pode-se citar sua participação nas soluções de problemas em áreas como engenharia (visualizações de simulações), física e química (ajudando a entender as relações entre ligações físico-químicas nas moléculas em níveis atômicos) e principalmente na área da medicina.

Diversas aplicações de visualização científica tem ajudado médicos a melhorar seus diagnósticos, com por exemplo um melhor entendimento das imagens geradas por equipamentos como tomografia computadorizada (CT) e ressonância magnética (MRI). Ou mesmo, auxiliando os médicos antes de cirurgias complexas com imagens volumétricas da região referente a cirurgias (tumores, coágulos, lesões, etc.).

A visualização volumétrica, dentro desse contexto de visualização científica, denota o conjunto de técnicas utilizadas na apresentação de dados científicos de volume, que consistem em dados associados a regiões ou pontos regular ou irregularmente distribuídos no espaço.(Manssour, 2002)

Este trabalho aborda os problemas e as técnicas usadas na exploração de visualização volumétrica de dados multimodais variante no tempo apoiada por técnicas de redução de projeção multidimensional. Este abordagem possui o *workflow* apresentado na figura 1.

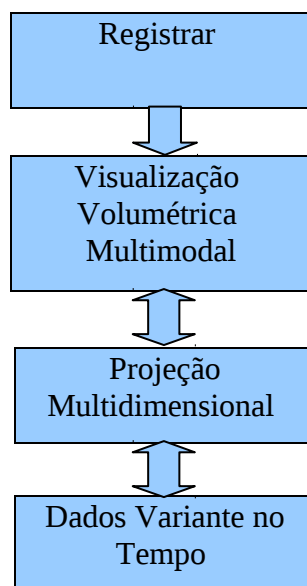


Figura 1: Workflow da Exploração de Visualização Volumétrica de Dados Multimodais Variante no Tempo, Apoiada por Técnicas de Projeção Multidimensional

Na seção 2 trata especificamente da aquisição dos dados multimodais. Já a seção 3 apresenta algumas técnicas de visualização volumétrica de dados multimodais. A seção 4 apresenta métodos de interação com usuário, incluindo aí as técnicas de redução de dimensão. Enquanto que na seção 5 tem-se uma breve discussão sobre os dados variando no tempo.

2. REGISTRAR

As áreas nas quais visualização volumétrica tem uma aplicabilidade mais direta, são: engenharia, química, física e principalmente medicina. Esta última área destaca-se pela evolução dos equipamentos médicos nos últimos anos, os quais geram uma imensa quantidade de dados cada vez mais precisos e mais complexos. Criando assim uma grande necessidade de visualizá-los.

Entretanto, os diversos equipamentos médicos como por exemplo: Tomografias Computadorizadas (CT), Ressonância Magnética (MRI), MRI funcional (fMRI), raios-X, Ultrassonografia, as técnicas por emissão como a *Positron-Emission Tomography* (PET), *Single Photon Emission Computed Tomography* (SPECT), etc. geram dados que por vezes se sobrepõe e por vezes se completam.

Considerando as diversas modalidades de aquisição dos dados médicos, uma visualização volumétrica de dados multimodais consiste na junção de um ou mais dados oriundo de aquisição de modalidades diferentes. O objetivo de visualização de dados multimodais é visualizar diferentes estruturas com dados que muitas vezes se complementam, auxiliando o diagnóstico do médico em patologias como tumores, padrões anormais de crescimento ou malformação artério-venosas, etc.

As técnicas de visualização de dados multimodais preocupam-se com a interação adequada de dados (bi ou tridimensionais) obtidos de aparelhos diferentes. Seu principal objetivo é combinar de maneira adequada os dados complementares de diversas modalidades em uma única imagem. (Manssour, 2002)

Os dados de diferentes modalidades quase sempre tem ou resolução diferente e/ou vários graus de distorções, então é necessário primeiro fazer o **registro** dos dados com objetivo de alinhá-los. (Akiba et al., 2007)

O processo de registro é composto por dois passos (conforme figura 2): primeiro é fazer o mapeamento de uma imagem para outro com o objetivo de trazê-las para o mesmo sistema de referência (seja temporal, seja espacial), o segundo passo é a fusão das duas imagens em uma única estrutura de dados.

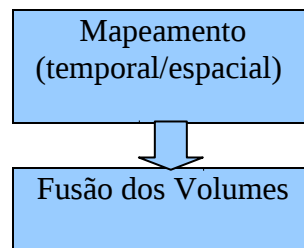


Figura 2: Processo de Registro dos dados multimodais

3. VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DE DADOS MULTIMODAIS

As técnicas de visualização volumétrica de dados multimodais são, muitas vezes, extensões das técnicas de visualização volumétricas, portanto a próxima subseção (3.1) apresenta uma breve discussão dos métodos mais comuns.

3.1. VISUALIZAÇÃO VOLUMÉTRICA

Visualização Volumétrica é o conjunto de técnicas utilizadas na visualização de dados associados a regiões de um volume, tendo como principal objetivo a exibição do interior de objetos volumétricos, a fim de explorar sua estrutura e facilitar sua compreensão. (Paiva et al., 1999)

A literatura da área apresenta uma grande variedade de técnicas de visualização de volumes. Uma classificação recorrente na literatura, subdivide as técnicas em: *surface rendering* (visualização através de superfícies) e *volume rendering* (visualização direta de volume).

Técnicas de visualização através de superfícies envolvem a extração e a representação de uma isosuperfície que é posteriormente visualizada através da utilização de técnicas convencionais da Computação Gráfica, como ilustrada na figura 3. Alguns dos problemas desta técnica são: geração ocasional de pedaços de superfícies falsos, a manipulação incorreta de pequenas características dos dados, e a dificuldade de representação da superfícies de algumas estruturas do corpo humano, no caso da visualização de imagens médicas. As grandes vantagens desta técnica, entretanto, são a velocidade para a geração e exibição da imagem final e o pouco espaço de armazenamento requerido. Representações deste tipo são apropriadas quando existem isosuperfícies bem definidas nos dados, mas não são eficientes quando o volume é composto por muitas micro-estruturas, como ocorre em várias imagens médicas. (Manssour, 2002)

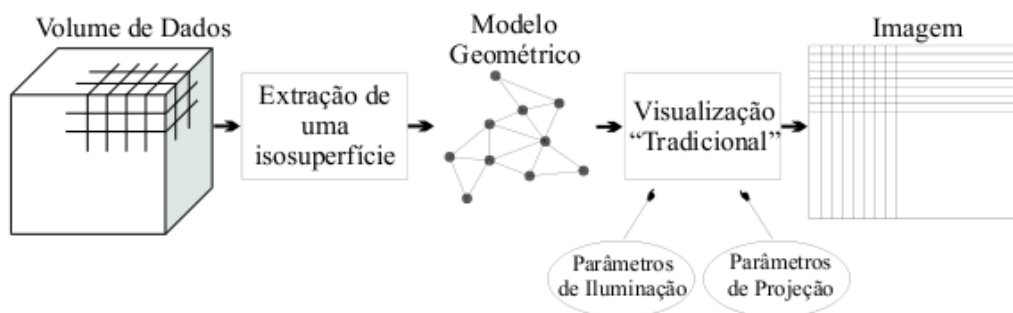


Figura 3: Etapas da visualização através de superfícies – retirada de Manssour 2002.

A visualização direta de volume, consiste em representar o volume através de voxels 3D que são projetados diretamente em pixels 2D e armazenados como uma imagem, dispensando o uso de primitivas geométricas (figura 4). Neste caso, numa etapa de classificação, é usada uma função de transferência, que corresponde ao mapeamento dos valores dos voxels (densidade do tecido, por exemplo) para propriedades visuais, tais como cor e opacidade. Estas técnicas possuem um alto custo computacional. Por outro lado, produzem imagens de excelente qualidade, uma vez que todos os voxels podem ser usados na síntese das imagens. O algoritmo mais popular deste grupo é o *ray casting*, seguido pelo *splatting*, *shear-warp*, *shell rendering*, *cell-projection* e *V-Buffer*.(Manssour, 2002)



Figura 4: Etapas da visualização direta de volume– retirada de Manssour 2002.

Para o desenvolvimento de visualização de imagens médicas é essencial que as imagens geradas sejam as mais precisas possíveis, por isso que técnicas de visualização direta do volume são as mais usadas em aplicações dessa área.

Ainda como parte da visualização direta de volume, tem-se a definição das funções de transferências, que será apresentado na seção 3.1.1.

3.1.1. Função de transferência

A primeira etapa do processo de rendering de volumes é a classificação dos dados. Ela permite ao usuário encontrar as estruturas existentes no conjunto de dados, podendo isolá-las e definir sua forma e extensão. A classificação envolve o mapeamento dos valores escalares a serem visualizados, em valores de cor associados e valores de opacidade, o que é feito através de funções de mapeamento que são específicas para cada aplicação (funções de transferência). (Paiva et al, 1999)

3.1.1.1. Função de Transferência de Opacidade

As funções de transferência de opacidade mais simples especificam a opacidade apenas de acordo com a intensidade do voxel, ou de acordo com a intensidade do voxel e a magnitude do gradiente local.

Desta forma, as funções de transferência de opacidade mais comuns são: **função linear** (mais usada na literatura), **função rampa** (gráfico em forma de triângulo, por exemplo), **função trapézio**, **função exponencial**, **função bloco**, **função definida através de uma tabela**, **funções baseadas na intensidade do voxel e na magnitude do gradiente** (tenta realçar as bordas com os operadores de gradiente na imagem, ou seja, primeira derivada) e **funções baseadas em outros parâmetros** (com o Laplaciano – derivada segunda).

3.1.1.2. Função de Transferência de Cor

Além das funções de transferência de opacidade, o desenvolvimento de funções de transferência de cor também é muito importante, pois, em geral, não há cor associada a cada voxel dos volumes de dados, há apenas um valor de intensidade que no caso de dados médicos representa a densidade de um tecido. As funções de transferência de cor podem ser implementadas da mesma maneira como as funções de transferência de opacidade, tais como linear, rampa, sendo que neste caso um valor RGB deve ser especificado para cada ponto de controle. Apesar da grande utilidade, é necessário muito cuidado na definição das tabelas de cores, pois da mesma maneira que o uso de cores pode melhorar a visualização, também pode prejudicar. (Manssour, 2002)

3.2. VISUALIZAÇÃO DE VOLUMES MULTIMODAIS

Para visualização de volumes multimodais é necessário que o dado seja primeiro registrado, de forma a garantir a visualização adequada dos volumes. Da mesma forma como a visualização volumétrica pode ser dividida em visualização através de superfícies e visualização direta de volume, as técnicas de visualização multimodais também as podem ser classificadas dessa forma.

Na literatura encontram-se várias técnicas de visualização integrada de volumes multimodais, tais como *Linked Feature Display* (seção 3.2.1), *Normal projection Technique*, *Normal Fusion Technique*, *Spectral Volume Rendering* (seção 3.2.2). Entretanto, aqui neste trabalho será apresentado apenas a primeira e a última técnica.

3.2.1. Linked Feature Display

A linked Feature Display exhibe as fatias correspondentes de duas (ou mais) modalidades em várias janelas separadas, cada uma com seu próprio controle. Quando se incluem cursores que mostram as localizações correspondentes das fatias de diferentes modalidades, o método aumenta exponencialmente sua interatividade, como no caso do exemplo mostrado na figura 5.

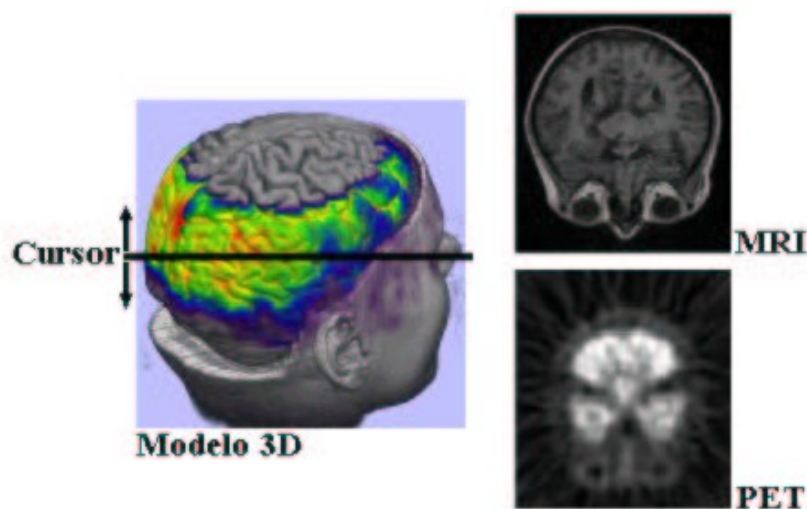


Figura 5: Exemplo da técnica de *linked feature display*– retirada de Manssour 2002.

3.2.2. Spectral Volume Rendering

Spectral volume rendering foi projetada para a análise interativa de imagens 3D de microscópio e inclui a extração de medida. Esta técnica consiste em modelar as mudanças espectrais que ocorrem quando a luz interage com os materiais em um voxel, que absorve e reflete parte do espectro da iluminação. A luz refletida é recebida por um detector de luz, o qual converte o espectro em um sinal RGB, da mesma maneira que o olho humano. Assim, ao invés de simplesmente associar a cada voxel um valor de opacidade e de cor, assume-se que o valor do voxel representa a densidade do material. No caso da combinação de diversos volumes, por exemplo, multimodais, um voxel conterá diversos materiais. (Manssour, 2002)

Para visualizar um objeto B que está no interior de um objeto A (figura 6), se assume que o espectro de iluminação consiste em duas bandas de comprimento de onda principais, caracterizados por λ_1 e λ_2 . O material do objeto A absorve grande parte da banda espectral ao redor de λ_1 , mas não absorve quase nada da banda espectral ao redor de λ_2 . O objeto B absorve bandas espectrais tanto em torno de λ_1 como de λ_2 . O objeto A apenas reflete a banda espectral em torno de λ_1 , enquanto que o objeto B reflete somente a banda espectral em torno de λ_2 . O detector recebe todas as bandas e as converte para um valor RGB. O resultado é a visualização de detalhes das superfícies do objeto A ao mesmo tempo em que se visualiza o objeto B através dele. (Manssour, 2002)

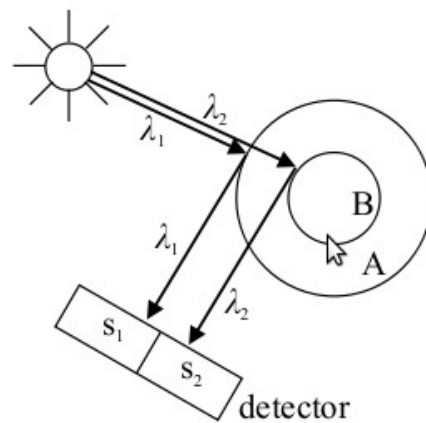


Figura 5: Visualização esquemática do spectral volume rendering– retirada de Manssour 2002.

4. PROJEÇÃO MULTIDIMENSIONAL

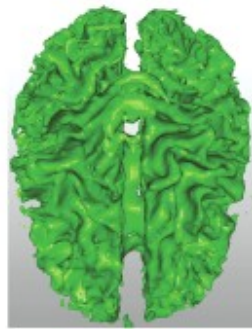
Um grande problema que a comunidade científica em frente na visualização volumétrica é desenvolver novas técnicas de separação e interação da imensa quantidade de dados oriunda dessas aplicações.

Várias técnicas de corte podem ser encontradas na literatura. Elas podem ser classificadas como corte baseado na geometria, baseado no conteúdo e baseado na geometria e conteúdo. Uma boa revisão nas funções de corte pode ser encontrada em Manssour [1], que são elas: seção planares, seções não - planares, plano de corte frontal, plano de corte traseiro, superfícies de corte não - planares, objeto volumétrico convexo

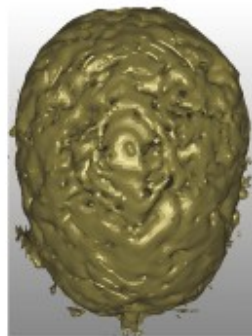
de corte, *confocal volume rendering* e *closet vessel projection*. Apenas as últimas duas sendo baseada na geometria e conteúdo, as demais puramente baseada na geometria.

Entretanto, nenhuma dessas técnicas de interação apresenta uma boa divisão ao nível mais detalhado de geometrias complexas como os dados de imagens médicas. Dessa forma, pode-se aplicar uma técnica de projeção multidimensional a fim de agrupar os voxels de maior similaridade e separar aqueles com grande dissimilaridade.

Paulovich et al 2010b demonstra como a projeção multidimensional dos voxels volumétricos consegue separar e agrupar os diversos seguimentos que compõem o volume de dados, conforme pode ser visto nas figura 6 e 7.

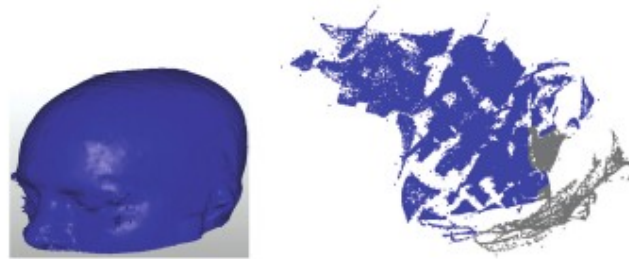


(a) Selection of an internal structure of the brain.

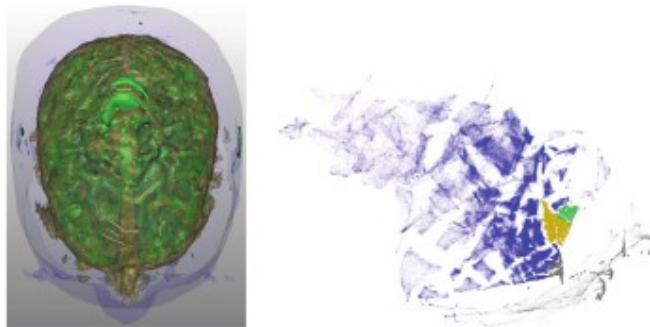


(b) Selection of the external part of the brain.

Figura 6: Projeção P-LSP do mesmo volume da cabeça. Todos esses volumes mostram uma boa separação entre as diferentes estruturas da cabeça – retirada de Paulovich et al, 2010b.



(c) Selection representing the skin, cranium and meninges.



(d) All above selections together.

Figura 7: Projeção P-LSP do mesmo volume da cabeça. Todos esses volumes mostram uma boa separação entre as diferentes estruturas da cabeça – retirada de Paulovich et al, 2010b.

5. VISUALIZAÇÃO DE DADOS VARIANTES NO TEMPO

Como exemplo de abordagem exploratória de visualização volumétrica de dados multimodais variante no tempo, tem-se a discussão apresentada por Hiroshi Akiba et al., 2007, na qual implementaram a visualização de uma simulação de combustíveis turbulentos, usando um amontoado de 1 bilhão de voxels com 100 mil time steps.

Na figura 8 é apresentado a visualização no time step 41 da simulação do combustível. Akiba afirma que o entendimento do processo de combustão pode ser explicado pela visualização da fração da mistura estequiométrica pela taxa de dissipação escalar, onde a fração da mistura é 0.42 de H_2/CO .

Akiba et al propõe a utilização de técnicas não foto realísticas (*nonphotorealistic rendering* – NPR) para visualização da simulação através do tempo. Dessa forma, aplicando várias técnicas NPR é possível destacar *features* chaves no volume enquanto menospreza estruturas que podem atrapalhar essas *features*. A figura 9 ilustra a

isosurface da fração da mistura usando rendering por silhueta (*silhouette rendering*) mostrando simultaneamente com rendering direto de volume de OH e x.

Rendering por Silhueta consiste em adicionar linhas pretas no entorno de um objeto e pode ser muito eficiente no realce de estruturas finas. Pode, também, ajudar em aprofundar a percepção quando visualização sobrepõe estruturas de cores similares.

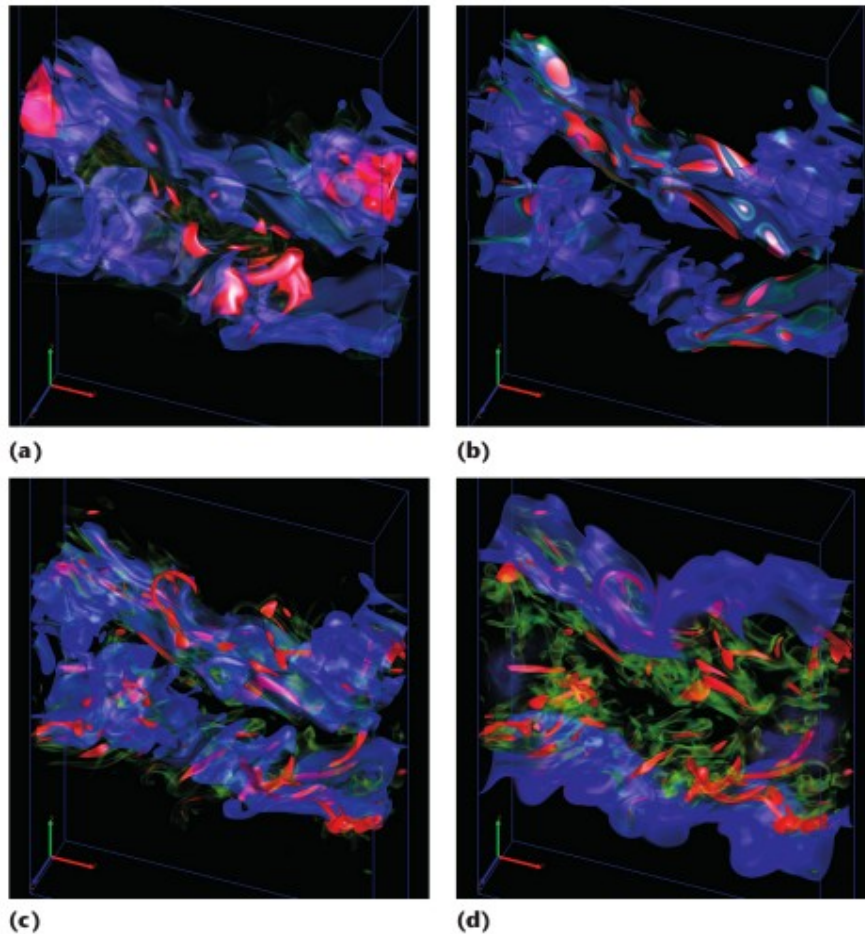


Figura 8: Visualização simultânea. (a) a fração de massa do hidroxi-radical OH(red), e a isosurface da fração da mistura estequiométrica; (b) x (red/amarelo) e a fração da mistura (azul); (c) vórtices (red/amarelo) e a fração da mistura; e (d) vórtice (red/amarelo) e liberação de calor (azul). – retirada de Akiba, 2007.

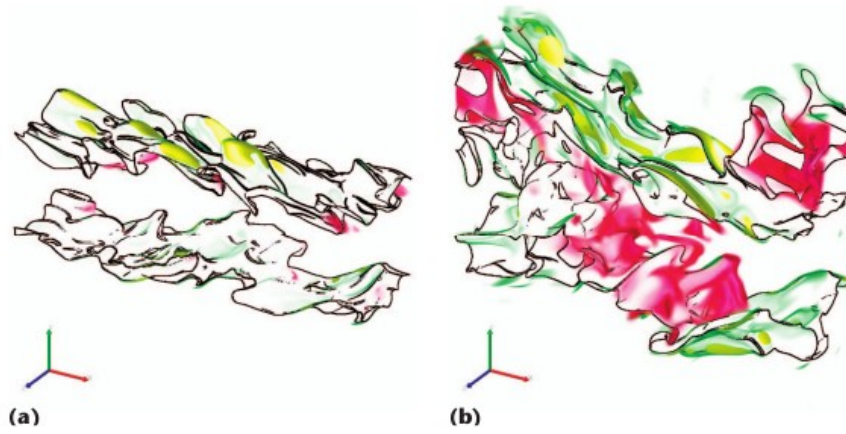


Figura 8: NPR de três variáveis (isosurface da fração da mistura, OH(red) e x (amarelo e verde)). (a) time setp 11; (b) time step 41 – retirada de Akiba, 2007.

6. REFERÊNCIAS

- [1] MANSSOUR, Isabel Harb. *Visualização de Estruturas Internas em Volume de Dados Multimodais*. Porto Alegre - RS. 2002.
- [2] PAIVA, Anselmo Cardoso de; SEIXAS, Roberto de Beauclair; GATTASS, Marcelo. *Introdução à Visualização Volumétrica*. Rio de Janeiro – RJ. 1999.
- [3] PAULOVICH, F. V. *Piecewise least-square projection: A fast and interactive mds technique for large data sets*. In: Eurographics/ IEEE-VGTC Symposium on Visualization , 2010a.
- [4] PAULOVICH, Fernando V.; ELER, Danilo M.; POCO, Jorge; NONATO, Luis G. *A Fast Projection Technique and its Applications to Visualization of Large Data Sets*. 2010b.
- [5] AKIBA H, Ma K L, Chen J H and Hawkes E R 2007 *Visualizing multivariate volume data from turbulent combustion simulations*. IEEE Comput. Sci. Eng. p 86.
- [6] SCHOEDER, Will; MARTIN, Ken; LORENSEN, Bill. *The Visualization Toolkit: na Objected-Oriented Approach to 3D Graphics*. 4ª edição. New Jersey-NY: 2006.