

# Técnicas de Visualização para Dados Espaciais

SCC5836 – Visualização Computacional

Prof. Fernando V. Paulovich

<http://www.icmc.usp.br/~paulovic>  
[paulovic@icmc.usp.br](mailto:paulovic@icmc.usp.br)

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)  
Universidade de São Paulo (USP)

- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

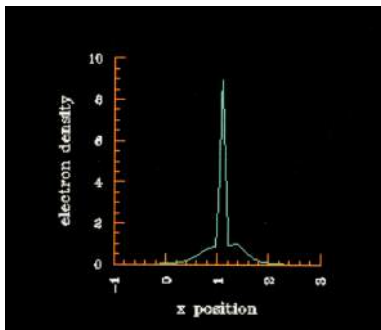
# Introdução

- Visualização de dados espaciais assume que os dados tem **atributos espaciais** ou **espaço-temporais** (atributos = dimensões) implícitos ou explícitos
  - Facilita a construção e interpretação das representações gráficas
- Convencionalmente, esse tipo de visualização é conhecida como **Visualização Científica**

- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais**
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

# Domínios Unidimensionais

- Dada uma sequência de valores **univariados** definidos em um domínio **unidimensional**, podemos mapear a informação espacial em **uma das dimensões da tela** e o valor associado à **outra dimensão**
  - Os dados tipicamente precisam ser **escalados**



# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais**
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

# Domínios Bidimensionais

- Dados definidos em um domínio com duas dimensões espaciais são **predominantemente** visualizados **mapeando** as dimensões espaciais nas duas dimensões da **tela**

# Domínios Bidimensionais

- Dados definidos em um domínio com duas dimensões espaciais são **predominantemente** visualizados **mapeando** as dimensões espaciais nas duas dimensões da **tela**
- O resultado será
  - Imagem
  - Mapa de altura
  - Paisagem
  - *Scatterplot*
  - Mapa
  - Contorno e isovalor



# Domínios Bidimensionais

- **Imagem:** um **único valor** é mapeado para cor e os pixels intermediários são interpolados



# Domínios Bidimensionais

- **Mapa de altura:** um valor é mapeado para altura de um ponto em 3D, formando uma **superfície**

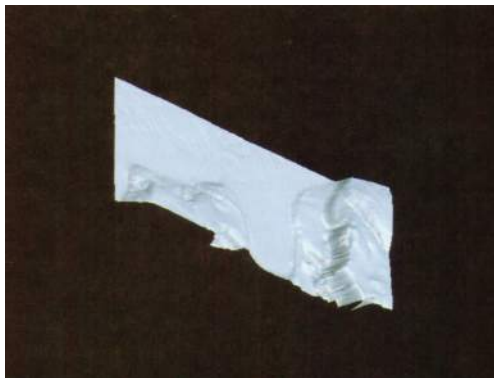
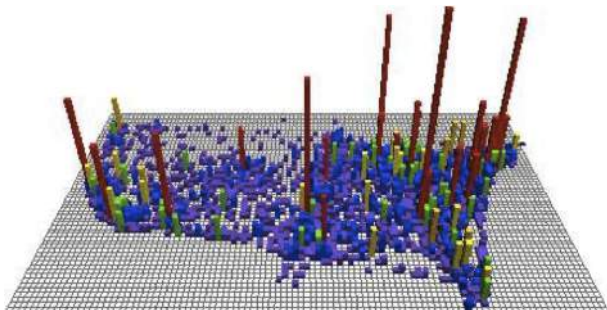


Figura: Superfície do oceano na região da Flórida.

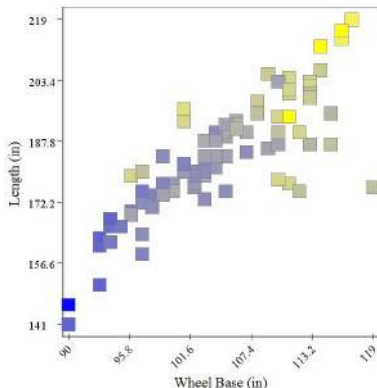
# Domínios Bidimensionais

- **Paisagem:** formado pelo desenho de **objetos 3D sobre um plano**, com os dados determinado as propriedades gráficas dos objetos



# Domínios Bidimensionais

- **Scatterplot:** o **posicionamento** é dado pela **informação espacial** e os demais atributos dos dados são mapeados para a cor, forma ou tamanho os marcadores (sem interpolação)



# Domínios Bidimensionais

- **Mapa:** os dados contêm características **lineares** (ligações entre coordenadas espaciais) e de **área** (contornos fechados), bem como **objetos pontuais** (pontos de interesse)



# Domínios Bidimensionais

- **Contorno e isovalor:** sobre um mapa um contorno indicaria uma **fronteira entre pontos** com valor acima e abaixo do isovalor definido (*marching squares*)



**Figura:** Linhas de contorno na imagem de uma fatia de uma molécula de hidrogênio.

# Marching Squares

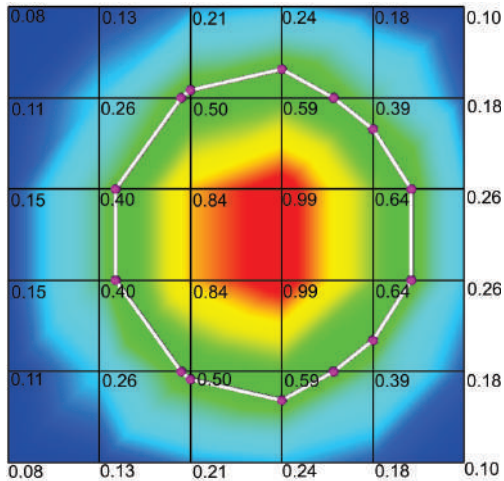
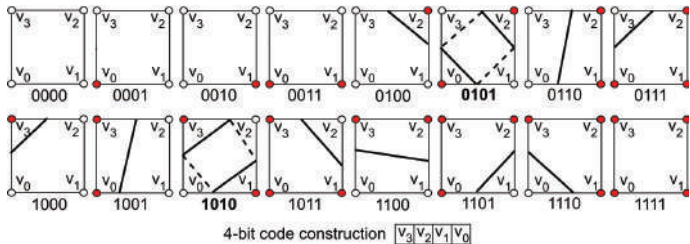


Figura: Construindo uma isolinha para um isovalor  $v = 48$ .

# Marching Squares



**Figura:** Estados topológicos de uma célula no algoritmo *Marching Squares*. Vermelho indica os vértices “interiores”. Em negrito estão os estados ambíguos.



# Marching Squares

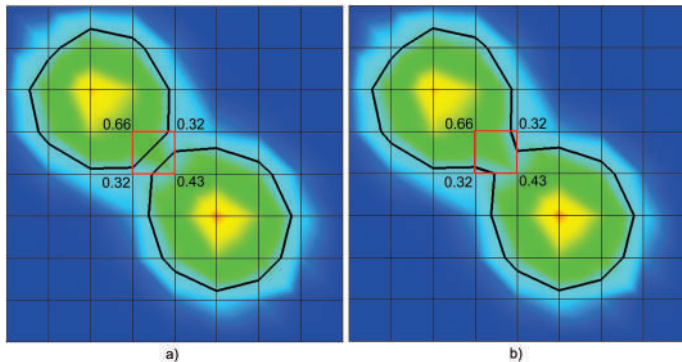


Figura: Problemas de ambiguidade na geração da isolinha. O isovalor  $v = 0.37$ .

- Para dados multidimensionais (multivariados) definidos em um domínio espacial 2D pode-se expandir essas técnicas por **justaposição** e **sobreposição**

- Para dados multidimensionais (multivariados) definidos em um domínio espacial 2D pode-se expandir essas técnicas por **justaposição** e **sobreposição**
  - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, o que gera uma visualização 3D - problemas com oclusão, mas permite observar múltiplos atributos

- Para dados multidimensionais (multivariados) definidos em um domínio espacial 2D pode-se expandir essas técnicas por **justaposição** e **sobreposição**
  - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, o que gera uma visualização 3D - problemas com oclusão, mas permite observar múltiplos atributos
  - **Sobreposição**: sobrepor diferentes atributos. Na visualização de paisagem pode-se ter blocos de diferentes cores, cada cor representando uma variável (mapas são os mais comuns)

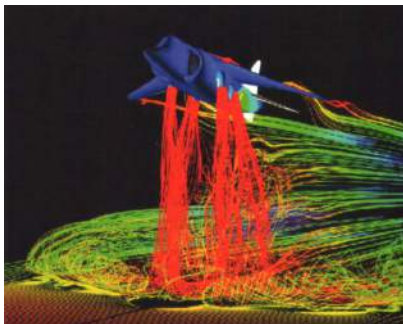
# Domínios Bidimensionais

- Para dados multidimensionais (multivariados) definidos em um domínio espacial 2D pode-se expandir essas técnicas por **justaposição** e **sobreposição**
  - **Justaposição**: empilhar visualizações univariadas 2D, o que gera uma visualização 3D - problemas com oclusão, mas permite observar múltiplos atributos
  - **Sobreposição**: sobrepor diferentes atributos. Na visualização de paisagem pode-se ter blocos de diferentes cores, cada cor representando uma variável (mapas são os mais comuns)
- Na presença de muitos atributos (variáveis) a solução é recorrer a técnicas multivariadas não-espaciais

- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais**
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

# Introdução

- Dados gerados por fenômenos do mundo real são tipicamente representados em domínios tridimensionais
- Dados 'científicos': representadas em 3D por **amostras discretas** de uma variável contínua (**visualização volumétrica**)
  - Discretização do domínio e da variável amostrada
  - A unidade básica de discretização é conhecida como **voxel**
  - Dados volumétricos, ou volumes de voxels



- A maior parte das técnicas de **visualização volumétrica** se enquadra em uma das seguintes **categorias**



# Visualizando Dados Volumétricos

- A maior parte das técnicas de **visualização volumétrica** se enquadra em uma das seguintes **categorias**
  - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: dados são capturados considerando um plano de recorte 2D alinhado a um dos eixos principais

# Visualizando Dados Volumétricos

- A maior parte das técnicas de **visualização volumétrica** se enquadra em uma das seguintes **categorias**
  - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: dados são capturados considerando um plano de recorte 2D alinhado a um dos eixos principais
  - **Técnicas de isosuperfície**: dado um valor, gera uma isosuperfície

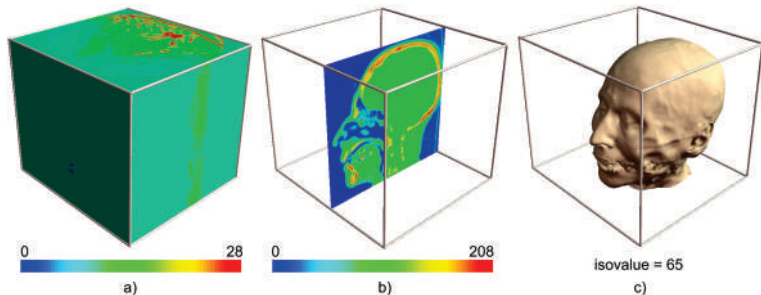
# Visualizando Dados Volumétricos

- A maior parte das técnicas de **visualização volumétrica** se enquadra em uma das seguintes **categorias**
  - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: dados são capturados considerando um plano de recorte 2D alinhado a um dos eixos principais
  - **Técnicas de isosuperfície**: dado um valor, gera uma isosuperfície
  - malha de triângulos: *rendering* de superfícies convencional

# Visualizando Dados Volumétricos

- A maior parte das técnicas de **visualização volumétrica** se enquadra em uma das seguintes **categorias**
  - **Técnicas de fatiamento (*slicing*)**: dados são capturados considerando um plano de recorte 2D alinhado a um dos eixos principais
  - **Técnicas de isosuperfície**: dado um valor, gera uma isosuperfície
  - malha de triângulos: *rendering* de superfícies convencional
  - **Rendering volumétrico direto**: calcula a cor dos pixels lançando raios no volume; ou projeta o volume em um plano e usa alguma estratégia para acumular efeitos nos pixels

# Visualizando Dados Volumétricos



**Figura:** Visualizando um conjunto de dados volumétrico. (a) desenho da superfície (b) plano de recorte (c) isosuperfície.

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados de 3D para 2D

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados de 3D para 2D
  - Os dados são recortados com um plano, dada uma **direção e posição**

# Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

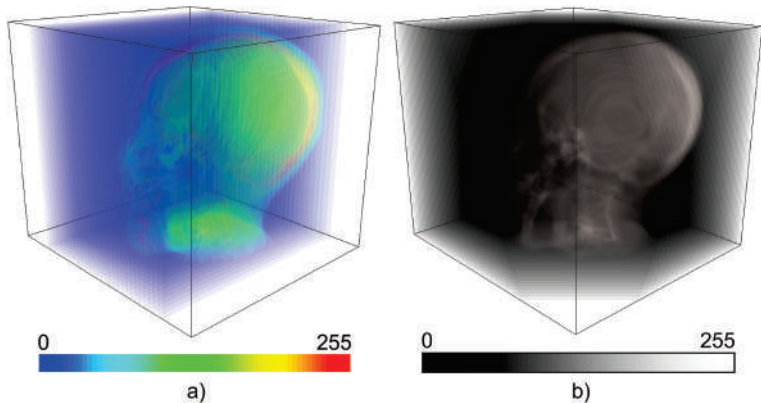
- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados de 3D para 2D
  - Os dados são recortados com um plano, dada uma **direção e posição**
  - Em uma implementação simples a **normal ao plano** coincide com um dos **eixos principais do volume**



# Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte

- No fatiamento, **planos de recorte** reduzem os dados de 3D para 2D
  - Os dados são recortados com um plano, dada uma **direção e posição**
  - Em uma implementação simples a **normal ao plano** coincide com um dos **eixos principais do volume**
  - **Animação** permite visualizar associações entre **fatias subsequentes**

# Fatiando Dados Volumétricos com Planos de Recorte



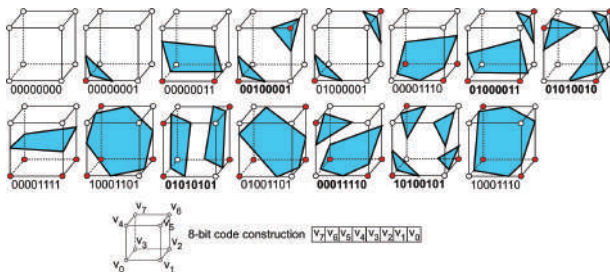
**Figura:** Visualização de um conjunto de dados volumétrico. (a) fatias alinhadas com volume (b) fatias alinhadas com a direção de observação.

# Extração de Isosuperfície usando *Marching Cubes*

- Outra forma de representar dados 3D é por meio da extração de **isosuperfícies**
- O algoritmo mais conhecido para extração é conhecido como **Marching Cubes**
  - Um voxel é definido pelos valores de seus 8 vértices
  - A contribuição do voxel para compor a superfície considera a relação entre esses valores e o isovalor de referência
  -

# Extração de Isosuperfície usando *Marching Cubes*

- O algoritmo começa classificando o **estado topológico** de cada voxel baseando-se nos valores definidos em seus **vértices**
  - Existem  $2^8 = 256$  estados possíveis, mas somente 15 são únicos – cuidado com as normais aos planos



**Figura:** Estados topológicos de um voxel. Vermelho indica vértice “interior” à superfície de referência. Negrito indica os casos ambíguos.

# Extração de Isosuperfície usando *Marching Cubes*

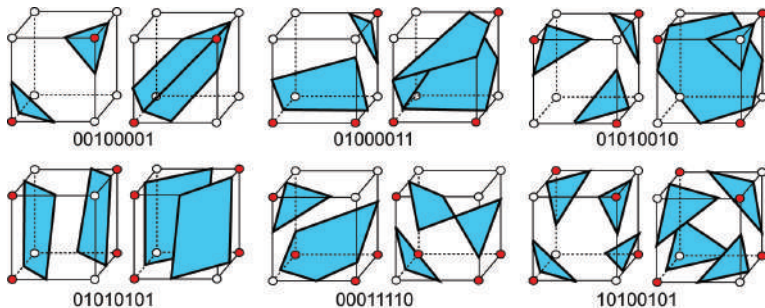


Figura: Casos ambíguos do algoritmo *Marching Cubes*.

## Extração de Isosuperfície usando *Marching Cubes*

- Após determinar os estados topológicos, calcula as **intersecções com as arestas dos voxels** para definir a posição dos triângulos
  - Uma simplificação é considerar que a intersecção sempre ocorre no meio da aresta

## Problemas e Alternativas

- Grande **consumo de memória** para armazenar o volume
  - Definir estruturas de dados que compartilhem arestas e vértices, ou mesmo unir triângulos coplanares em faces maiores

# Extração de Isosuperfície usando Marching Cubes

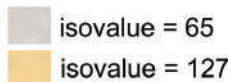
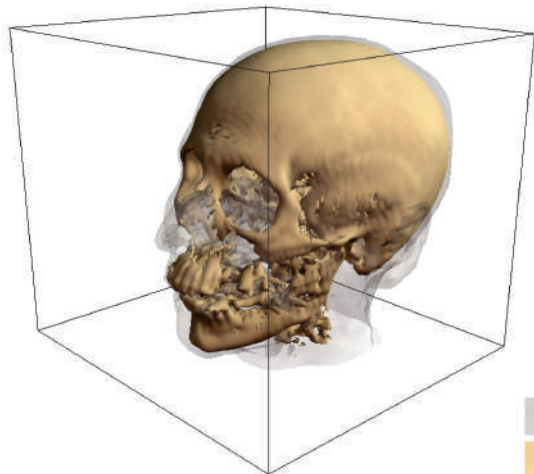


Figura: Visualização volumétrica que exibe duas isosuperfícies.



- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante
  - **Lança raios** dos pixels na direção do volume, acumulando as contribuições dos voxels ao longo do raio

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante
  - **Lança raios** dos pixels na direção do volume, acumulando as contribuições dos voxels ao longo do raio
  - Processo equivale a projetar os voxels no plano da tela

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante
  - **Lança raios** dos pixels na direção do volume, acumulando as contribuições dos voxels ao longo do raio
  - Processo equivale a projetar os voxels no plano da tela
  
- Existem dois tipos de mapeamento

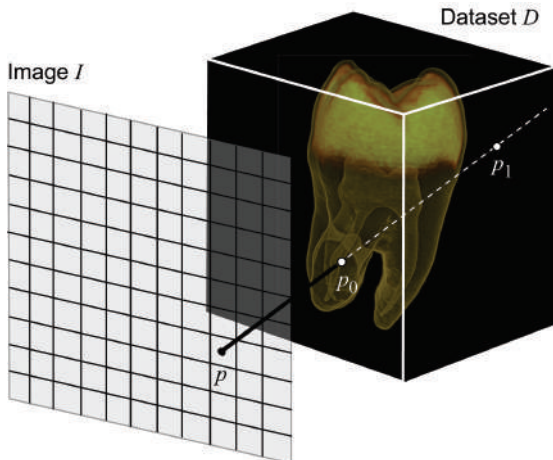
# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante
  - **Lança raios** dos pixels na direção do volume, acumulando as contribuições dos voxels ao longo do raio
  - Processo equivale a projetar os voxels no plano da tela
  
- Existem dois tipos de mapeamento
  - **Mapeamento direto: projeta cada voxel** no plano de projeção e determina quais pixels são afetados

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- O **Rendering Volumétrico Direto** não gera uma malha de polígonos, mas computa individualmente os pixels na imagem resultante
  - **Lança raios** dos pixels na direção do volume, acumulando as contribuições dos voxels ao longo do raio
  - Processo equivale a projetar os voxels no plano da tela
  
- Existem dois tipos de mapeamento
  - **Mapeamento direto: projeta cada voxel** no plano de projeção e determina quais pixels são afetados
  - **Mapeamento inverso (ray casting): lança raios dos pixels** no plano de projeção através do volume, amostra valores ao longo desse e determina o valor de cada pixel

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta



**Figura:** Princípio conceitual da visualização volumétrica (rendering volumétrico).

- Problemas no mapeamento direto (MD)



- Problemas no mapeamento direto (MD)
  - ① Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)
  - 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
  - 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)
  - 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
  - 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels
  - 3 O que fazer quando voxels são projetados entre pixels

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)
  - 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
  - 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels
  - 3 O que fazer quando voxels são projetados entre pixels
  
- Problemas com mapeamento inverso (MI)

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)

- 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
- 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels
- 3 O que fazer quando voxels são projetados entre pixels

- Problemas com mapeamento inverso (MI)

- 1 Como definir o número de pontos amostrados ao longo do raio

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)

- 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
- 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels
- 3 O que fazer quando voxels são projetados entre pixels

- Problemas com mapeamento inverso (MI)

- 1 Como definir o número de pontos amostrados ao longo do raio
- 2 Como calcular os valores desses pontos que podem cair entre voxels

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Problemas no mapeamento direto (MD)

- 1 Como trabalhar com os pixels que são influenciados por múltiplos voxels
- 2 Como lidar com pixels que não são mapeados em voxels
- 3 O que fazer quando voxels são projetados entre pixels

- Problemas com mapeamento inverso (MI)

- 1 Como definir o número de pontos amostrados ao longo do raio
- 2 Como calcular os valores desses pontos que podem cair entre voxels
- 3 Como combinar os valores encontrados ao longo de cada raio

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Nesse processo, quando pixels são influenciados por **múltiplos voxels** (MD) ou quando **vários valores** são encontrados ao longo de cada raio, faz-se uma **composição** dos valores



# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Nesse processo, quando pixels são influenciados por **múltiplos voxels** (MD) ou quando **vários valores** são encontrados ao longo de cada raio, faz-se uma **composição** dos valores
- Nesse processo cada voxel tem uma opacidade, as quais são combinadas para determinar a cor do pixel associado
  - Determinar a **transparência acumulada** entre o plano de projeção e o voxel ( $\prod_{j=0}^{i-1} (1 - o_j)$ ) e usar essa informação para **ajustar a intensidade** do pixel ( $c_i \times o_i$ ) (cor e opacidade)

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Nesse processo, quando pixels são influenciados por **múltiplos voxels** (MD) ou quando **vários valores** são encontrados ao longo de cada raio, faz-se uma **composição** dos valores
- Nesse processo cada voxel tem uma opacidade, as quais são combinadas para determinar a cor do pixel associado
  - Determinar a **transparência acumulada** entre o plano de projeção e o voxel ( $\prod_{j=0}^{i-1}(1 - o_j)$ ) e usar essa informação para **ajustar a intensidade** do pixel ( $c_i \times o_i$ ) (cor e opacidade)
- A cor final de um pixel será

$$I(x, y) = \sum_{i=0}^n c_i \times o_i \times \prod_{j=0}^{i-1} (1 - o_j)$$

- em que  $c_i$  e  $o_i$  são cor e opacidade do voxel  $i$ , respectivamente

- Outro **problema** é definir como **mapear** valor associado a um voxel para os **canais de opacidade e de cor** (RGB) – problema de **classificação**

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é definir como **mapear** valor associado a um voxel para os **canais de opacidade e de cor** (RGB) – problema de **classificação**
- Funções que definem esse mapeamento são conhecidas como **funções de transferência**
  - Por exemplo, pode-se analisar voxels em que ocorrem transições significativas (mudança de cor e opacidade)
  - Em geral, essas funções podem ser modificadas interativamente

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

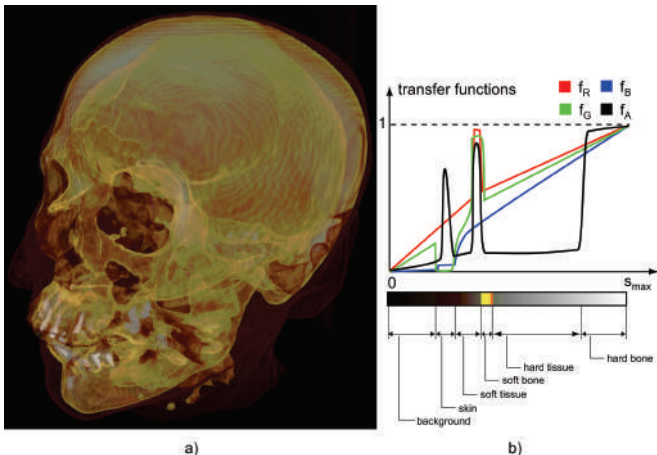


Figura: (a) *rendering* de um volume representando uma cabeça. (b) função de transferência que enfatiza tecido mole e material mole e duro dos ossos.

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação
- O gradiente de um dado voxel  $(v_x, v_y, v_z)$  na direção  $x$  pode ser calculado com base em seus vizinhos  $(v_{x-1}, v_y, v_z)$  e  $(v_{x+1}, v_y, v_z)$

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação
- O gradiente de um dado voxel  $(v_x, v_y, v_z)$  na direção  $x$  pode ser calculado com base em seus vizinhos  $(v_{x-1}, v_y, v_z)$  e  $(v_{x+1}, v_y, v_z)$ 
  - Uma forma simples de determinar  $g_x$ , o componente  $x$  do gradiente, é fazer  $v_x - v_{x-1}$  (**operador intermediário de diferença**)



# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação
- O gradiente de um dado voxel  $(v_x, v_y, v_z)$  na direção  $x$  pode ser calculado com base em seus vizinhos  $(v_{x-1}, v_y, v_z)$  e  $(v_{x+1}, v_y, v_z)$ 
  - Uma forma simples de determinar  $g_x$ , o componente  $x$  do gradiente, é fazer  $v_x - v_{x-1}$  (**operador intermediário de diferença**)
  - Realizando essa operação para as três direções  $x$ ,  $y$ , e  $z$  temos uma aproximação da direção de maior variação do valor do voxel

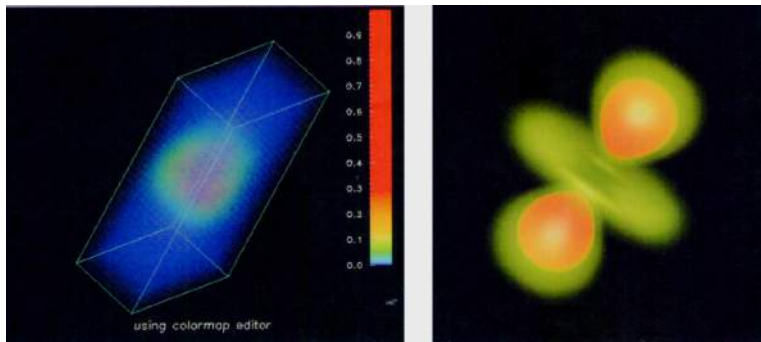
# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação
- O gradiente de um dado voxel  $(v_x, v_y, v_z)$  na direção  $x$  pode ser calculado com base em seus vizinhos  $(v_{x-1}, v_y, v_z)$  e  $(v_{x+1}, v_y, v_z)$ 
  - Uma forma simples de determinar  $g_x$ , o componente  $x$  do gradiente, é fazer  $v_x - v_{x-1}$  (**operador intermediário de diferença**)
  - Realizando essa operação para as três direções  $x$ ,  $y$ , e  $z$  temos uma aproximação da direção de maior variação do valor do voxel
- Outros operadores existem, como o **estimador central de diferença do gradiente** que computa  $g_x = v_{x+1} - v_{x-1}$

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta

- Outro **problema** é o cálculo dos efeitos de **iluminação e tonalização** – não existem normais
  - O **gradiente** (taxa de mudança) na direção de cada um dos eixos principais pode ser usado como uma aproximação
- O gradiente de um dado voxel  $(v_x, v_y, v_z)$  na direção  $x$  pode ser calculado com base em seus vizinhos  $(v_{x-1}, v_y, v_z)$  e  $(v_{x+1}, v_y, v_z)$ 
  - Uma forma simples de determinar  $g_x$ , o componente  $x$  do gradiente, é fazer  $v_x - v_{x-1}$  (**operador intermediário de diferença**)
  - Realizando essa operação para as três direções  $x$ ,  $y$ , e  $z$  temos uma aproximação da direção de maior variação do valor do voxel
- Outros operadores existem, como o **estimador central de diferença do gradiente** que computa  $g_x = v_{x+1} - v_{x-1}$
- **Vizinhanças maiores** podem ser usadas, mas corre-se o risco de **perder detalhes finos**

# Técnicas de Visualização Volumétrica Direta



**Figura:** Exemplos de *rendering* volumétrico direto. (a) modelo emissivo, sem cálculo de tonalização (b) abordagem baseada em textura incluindo componentes especulares e difusas.

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos**
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências

- O estudo de métodos para a visualização de comportamento dinâmico em líquidos e gases é conhecido como **visualização de fluidos** (*flow visualization*)
- Domínio espaço-temporal
- Variáveis vetoriais

# Dados Dinâmicos

- O estudo de métodos para a visualização de comportamento dinâmico em líquidos e gases é conhecido como **visualização de fluidos** (*flow visualization*)
  - Domínio espaço-temporal
  - Variáveis vetoriais
- 
- Recentemente a **Dinâmica de Fluidos Computacional** (**computational fluid dynamics (CFD)**) definiu métodos capazes de simular uma vasta gama de condições
    - Normalmente uma grade 2D ou 3D de **vetores de velocidade**
    - Especialistas analisam esse campo vetorial para identificar: **turbulência, vórtices**, pontos de sela (*saddle points*) e outras estruturas

# Dados Dinâmicos

- O estudo de métodos para a visualização de comportamento dinâmico em líquidos e gases é conhecido como **visualização de fluidos** (*flow visualization*)
  - Domínio espaço-temporal
  - Variáveis vetoriais
- 
- Recentemente a **Dinâmica de Fluidos Computacional** (**computational fluid dynamics (CFD)**) definiu métodos capazes de simular uma vasta gama de condições
    - Normalmente uma grade 2D ou 3D de **vetores de velocidade**
    - Especialistas analisam esse campo vetorial para identificar: **turbulência, vórtices**, pontos de sela (*saddle points*) e outras estruturas
- 
- Podemos ter
    - **Campos estáticos**: o campo de velocidade não muda
    - **Campos variantes no tempo**: posições fixas com os vetores mudando de direção; ou mudando ambos os valores (*unsteady visualization*)



## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido

## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações

## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações
- **Timeline:** posições das partículas em um momento de tempo

## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações
- **Timeline:** posições das partículas em um momento de tempo
- **Streamline:** linha no campo de velocidade, tangente em cada ponto

## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações
- **Timeline:** posições das partículas em um momento de tempo
- **Streamline:** linha no campo de velocidade, tangente em cada ponto
- **Steady flow:** fluido cujo campo não muda com o tempo

## Definições

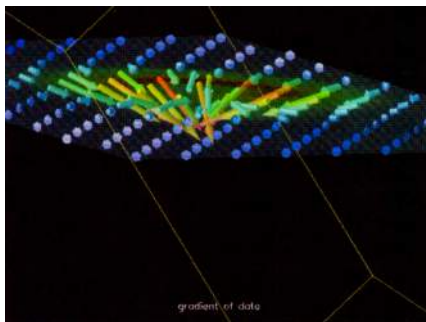
- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações
- **Timeline:** posições das partículas em um momento de tempo
- **Streamline:** linha no campo de velocidade, tangente em cada ponto
- **Steady flow:** fluido cujo campo não muda com o tempo
- **Particle advection:** cálculo da movimentação das partículas em um campo de fluido

## Definições

- **Pathline:** trajetória de uma partícula em um fluido
- **Streakline:** posições simultâneas de um conjunto de partículas continuamente lançadas de uma ou mais localizações
- **Timeline:** posições das partículas em um momento de tempo
- **Streamline:** linha no campo de velocidade, tangente em cada ponto
- **Steady flow:** fluido cujo campo não muda com o tempo
- **Particle advection:** cálculo da movimentação das partículas em um campo de fluido
- **Vorticity:** ondulação no campo de velocidade, em função da magnitude e direção da velocidade angular de cada partícula

# Técnicas de Visualização

- A forma mais simples é mostrar o campo de velocidade por glifos como **vetores e setas**, ou como **valores escalares** de magnitude mapeados para cor, tamanho ou posição



**Figura:** Visualização de uma nuvem de chuva com setas indicando a direção do vento e sua força.



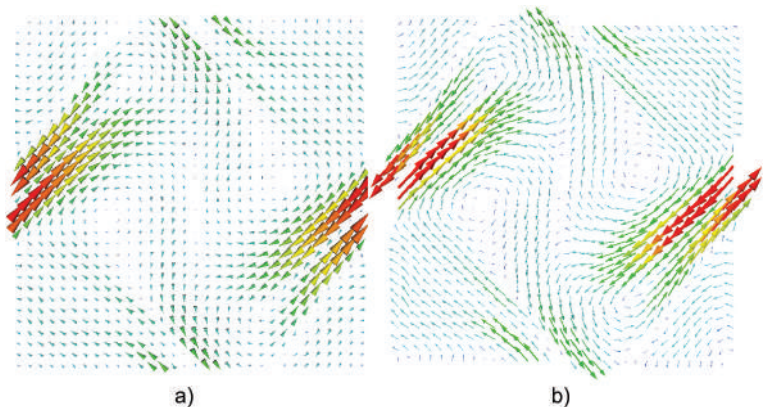


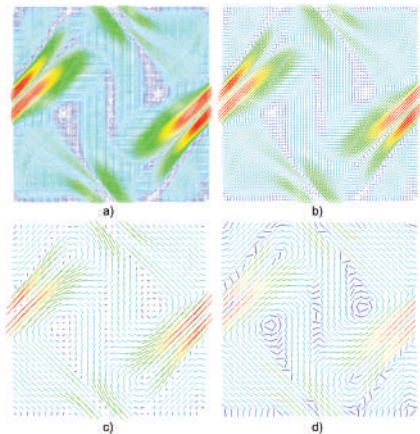
Figura: Diferentes tipos de glifos. (a) cones (b) setas.

- Um dos **problemas** é controlar o **número de componentes** exibidas
  - Muitos: **obscurece** a visualização
  - Poucos: características importantes podem ser **perdidas**

# Técnicas de Visualização

- Um dos **problemas** é controlar o **número de componentes** exibidas
  - Muitos: **obscurece** a visualização
  - Poucos: características importantes podem ser **perdidas**
- Pode ser resolvido com **controle interativo** do usuário ou por outras técnicas que analisem os dados identificando **regiões de interesse**

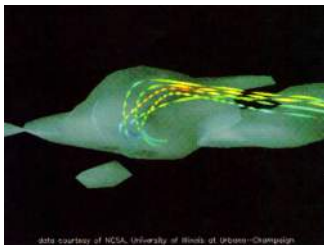
# Técnicas de Visualização



**Figura:** Visualização do campo de velocidade por glifos, com diferentes taxas de amostragem. (a) metade (b) um quarto e (c) um oitavo. (d) Um quarto com glifos escalados para o mesmo tamanho.

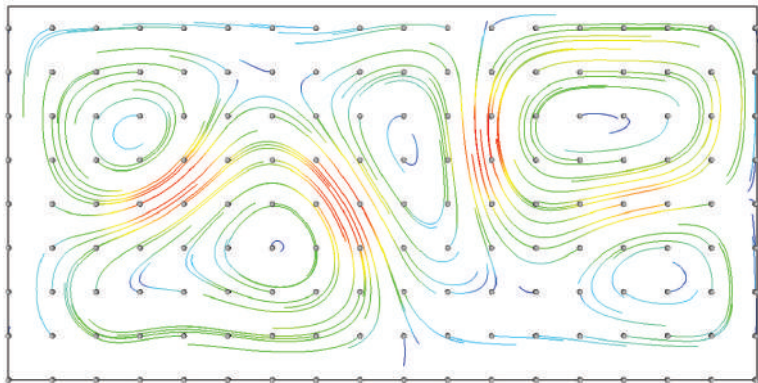
## Streamlines

- Dada algumas localizações (sementes), um caminho é calculado para cada semente tangente ao campo de fluido
  - Além de linhas pode-se utilizar objetos **planares ou sólidos** (como fitas)
  - Outros **atributos** mapeados por meio da cor, tamanho e torção, como magnitude e vorticidade



**Figura:** Visualização de fluidos usando fitas, com a vorticidade mapeada para a torção da fita.

# Técnicas de Visualização



**Figura:** *Streamlines* em um campo de fluido 2D. Os pequenos círculos cinza indicam as sementes.

# Convolução Integral de Linha

- Outro método interessante para visualização de fluidos é o **Line Integral Convolution (LIC)**
  - Usa um campo **vetorial** e um campo **aleatório** (textura)

# Convolução Integral de Linha

- Cada pixel na imagem é a **média ponderada** de pixels adjacentes (da textura) ao longo do **caminho** centrado no pixel e seguindo a *streamline* que passa pelo do **pixel**
  - Pixels ao longo de linhas com vetores similares adjacentes terão somas similares da textura

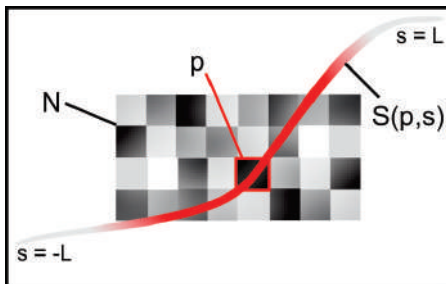


Figura: Ilustração do princípio do LIC.



# Convolução Integral de Linha



**Figura:** A textura a esquerda é combinada com o campo vetorial no centro, gerando a imagem a direita.

# Sumário

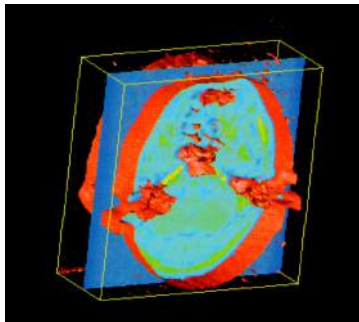
- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas**
- 7 Referências

# Combinando Técnicas

- Desde que seja possível evitar oclusão, **combinar as técnicas** pode ser uma **boa estratégia** para visualização mais efetiva
  - Na verdade isso é **necessário em certas aplicações** como previsão do tempo (temperatura da superfície, velocidade do vento, umidade relativa, etc.)

# Fatias + Isosuperfícies

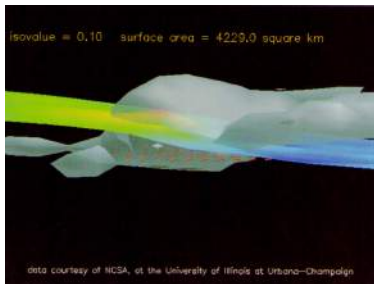
- É possível unir **isosuperfícies** e **fatias** de um conjunto de dados empregando cores diferentes para cada uma das visualizações
  - O mapeamento das cores é o ponto crucial nessa junção



**Figura:** Conjunto de dados volumétricos da área médica. Uma isosuperfície e uma fatia 2D são exibidas simultaneamente.

# Isosuperfícies + Glifos

- Para tornar uma **isosuperfície** mais representativa pode-se utilizar **glifos** para representar informação complementar sobre os dados



**Figura:** Visualização de uma nuvem de tempestade. A isosuperfície e um plano de recorte mapeiam a densidade da água e glifos mostram a direção e força do vento.

# Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

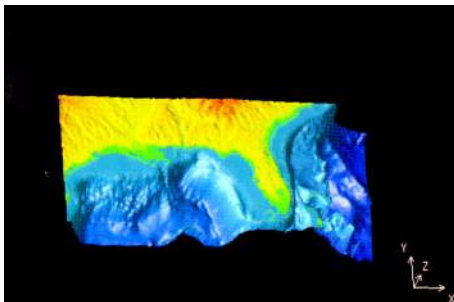
- Mapear dados de forma **redundante** em múltiplos atributos visuais pode favorecer a percepção pelo usuário



**Figura:** Visualização *rubber sheet* da altura acima e abaixo do nível do oceano.

# Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

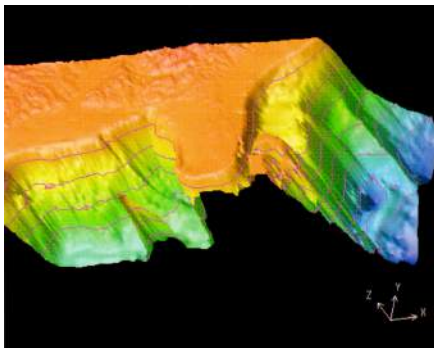
- Mapear dados de forma **redundante** em múltiplos atributos visuais pode favorecer a percepção pelo usuário



**Figura:** Visualização *rubber sheet* da altura acima e abaixo do nível do oceano, usando cor para mapear redundantemente a altura.

# Rubber Sheet + Linhas de Contorno + Cor

- Mapear dados de forma **redundante** em múltiplos atributos visuais pode favorecer a percepção pelo usuário



**Figura:** Zoom da figura anterior com linhas de contorno adicionais (informação do gradiente mais visível).



- 1 Introdução
- 2 Dados em Domínios Unidimensionais
- 3 Dados Definidos em Domínios Bidimensionais
- 4 Dados em Domínios Tridimensionais
- 5 Dados Dinâmicos
- 6 Combinando Técnicas
- 7 Referências**

# Referências

- Ward, M., Grinstein, G. G., Keim, D. **Interactive data visualization foundations, techniques, and applications.** Natick, Mass., A K Peters, 2010.
- Alexandru C. Telea. **Data Visualization: Principles and Practice.** A K Peters, 2008.