

# Visualização de Campos Vetoriais e Aplicações em Mecânica dos Fluidos

baseado em:  
Martins, Oliveira, Minghim – Visualização Científica em Mecânica dos Fluidos, Notas do ICMC no. 34, 1997

## Conceitos Gerais

- Dados em campos contínuos, 2D ou 3D
  - Escalares: pressão, temperatura, densidade
  - Vetoriais: velocidade, vorticidade, gradiente de um campo escalar
  - Tensoriais simétricos: tensões, deformações

# Conceitos Gerais

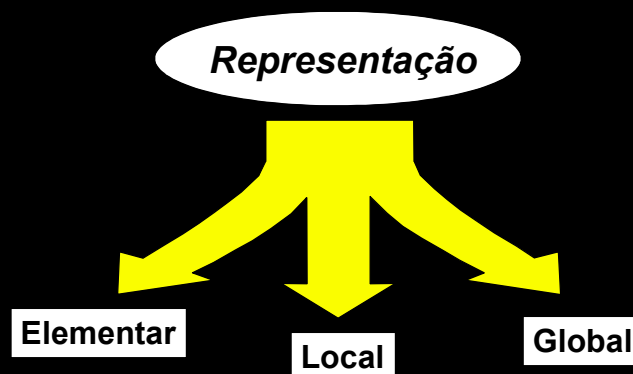
- Mecânica dos Fluidos: aplicação típica da visualização de vetores
  - Entendimento qualitativo e quantitativo dos fenômenos, de maneira a complementar ou substituir procedimentos experimentais
  - Refinamento iterativo de métodos experimentais e numéricos (simulação computacional de escoamentos) por meio da visualização de resultados intermediários
  - Validação de soluções numéricas por comparação com resultados experimentais

3

# Base Conceitual (“Framework”)

Proposta de Delmarcelle e Hesselink (1995)

Classificação pelo nível de representatividade



4

# Base Conceitual (“Framework”)

Proposta de Delmarcelle e Hesselink (1995)

Classificação pelo nível de representatividade



5

# Base Conceitual (“Framework”)

Proposta de Delmarcelle e Hesselink (1995)

Classificação pelo nível de representatividade

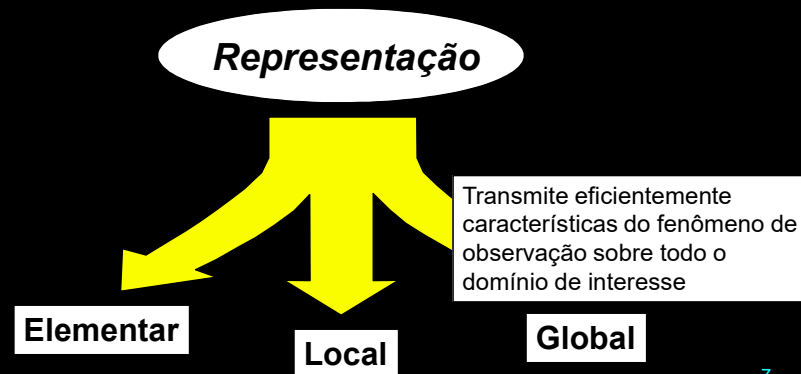


6

# Base Conceitual (“Framework”)

Proposta de Delmarcelle e Hesselink (1995)

Classificação pelo nível de representatividade



7

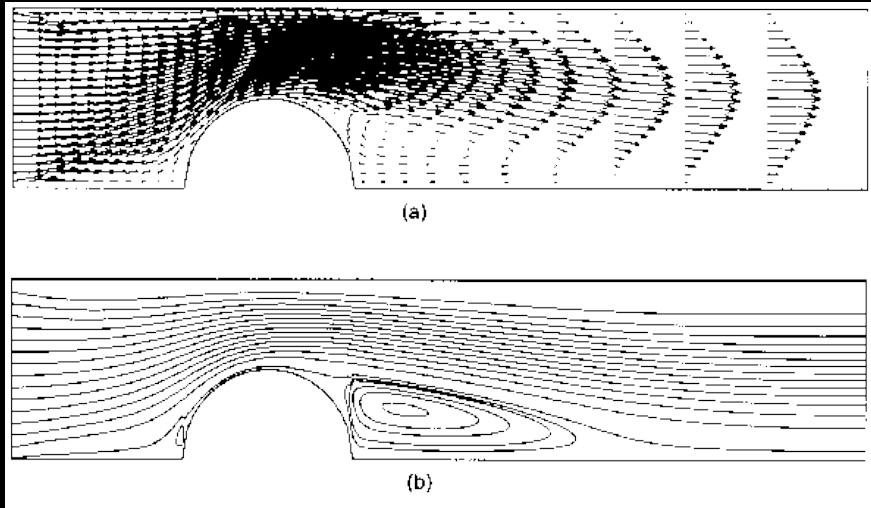
## Representações Vetoriais

### □ Representações Vetoriais Elementares

- Ícones Puntuais: “glyphs” ou “hedgehogs”
  - Baixo custo, boa interatividade
  - Possível congestionamento visual e ambigüidade, principalmente em 3D

8

## Representações Vetoriais Elementares



Representação por “Glyphs” (a) em comparação a “streamlines” (b), num escoamento bidimensional (simulação numérica)

9

## Representações Vetoriais Elementares

- Linhas de escoamento
  - trajetórias (“particle traces”)
  - linhas de emissão (“streaklines”)
  - linhas de corrente (“streamlines”)
- Transmitem noção da continuidade do escoamento e possibilitam melhor identificação de características do campo do que com “glyphs”
- Exigem integração numérica do campo vetorial: operação crítica e de custo relativamente elevado

10

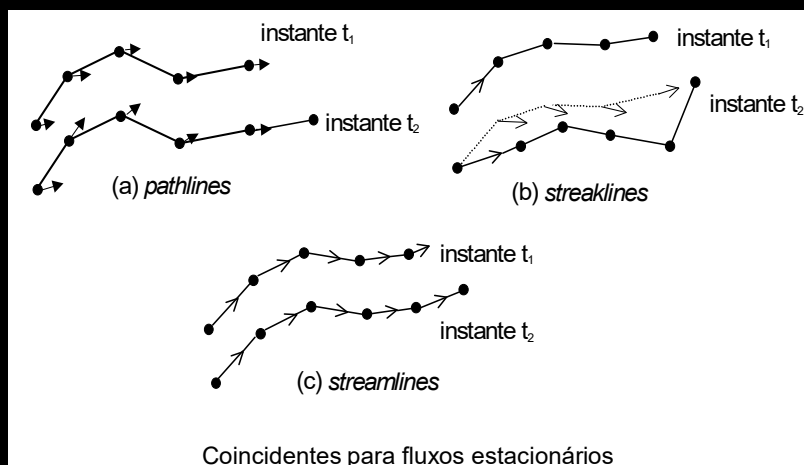
# Representações Vetoriais Elementares

## □ Linhas de escoamento

- $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$
- $d\mathbf{x}/dt = \mathbf{v}(\mathbf{x}, t)$  (1)
- trajetórias ("particle traces")
  - Linha percorrida após um intervalo  $\Delta t$  por uma partícula sem massa inserida num ponto  $\mathbf{x}_0$  do domínio no instante inicial  $t_0$
- linhas de emissão ("streaklines")
  - Linha obtida ligando as posições, num instante  $t = t_0 + \Delta t$ , de partículas que foram sequencialmente emitidas de um ponto  $\mathbf{x}_0$  a partir do instante  $t_0 \rightarrow$  Animação
- linhas de corrente ("streamlines")
  - Solução da equação (1) num instante  $t_0$  fixo. É uma linha partindo de  $\mathbf{x}_0$  e tangente ao campo vetorial em todos os pontos

11

## Linhas de escoamento



## Linhas de escoamento

- Linhas de trajetória e de emissão podem ser simuladas pela injeção de partículas no fluxo
- *Linha de trajetória ("Pathline", "Particle path")*: lugar geométrico dos pontos ocupados no tempo por um único elemento infinitesimal do fluido
  - Obtida a partir da foto do rastro de uma partícula de massa desprezível inserida no fluido, obtida com um certo tempo de exposição (um dado intervalo de tempo)
- *Linha de emissão ("Streakline")*: curva obtida num dado instante de tempo, definida pelo lugar geométrico dos elementos infinitesimais do fluido que passaram previamente por um ponto fixo do espaço
  - Obtida a partir de foto do escoamento no tempo  $t$ , após a injeção contínua de um corante ou fumaça num dado ponto do fluido

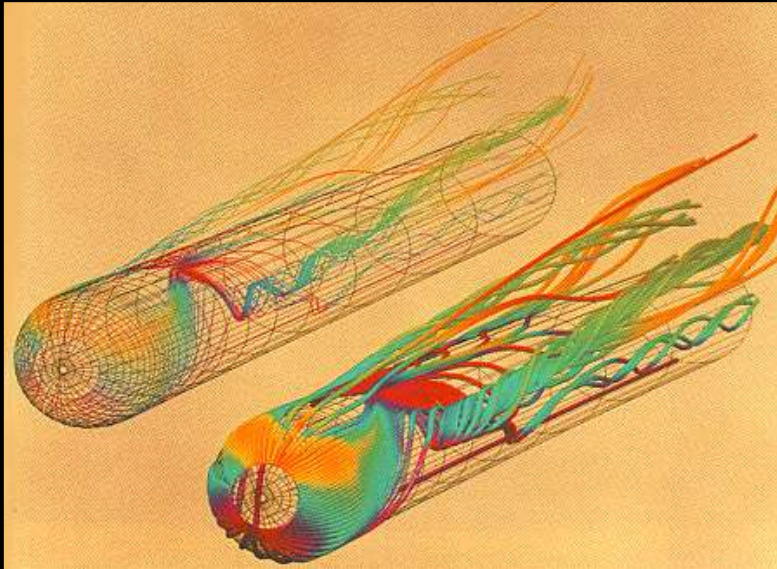
13

## Linhas de escoamento

- *Linha de corrente ("Streamline")*: curva integral do campo vetorial de velocidade instantânea, que passa por um dado ponto do espaço num dado instante de tempo. Linhas tangentes em todos seus pontos ao campo velocidade, num dado instante de tempo
  - Solução da integral por métodos numéricos é crítica. Custo alto e processo sujeito a erros se não forem consideradas características de regiões específicas do fluido
- Linhas de corrente representam o campo de velocidades em um determinado instante de tempo, enquanto que as trajetórias e as linhas de emissão fornecem uma representação do campo de velocidades sobre um intervalo finito de tempo

14

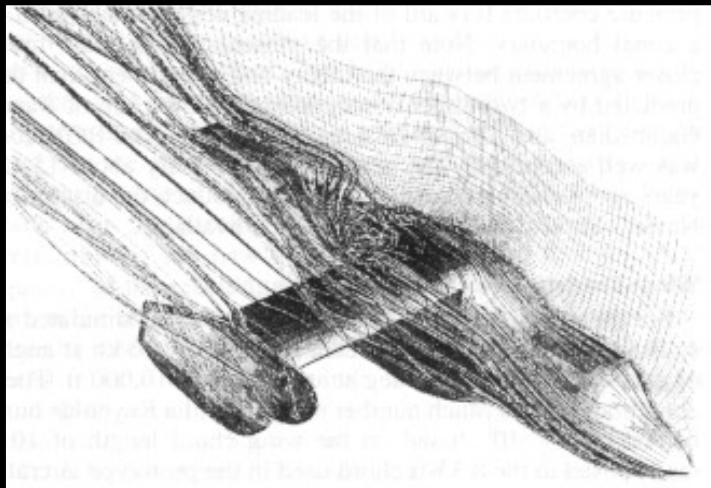
## Representações Vetoriais Elementares



**Streamlines** em um escoamento externo, com e sem espessura artificial (Delmarcelle e Hesselink, 1995)

15

## Representações Vetoriais Elementares

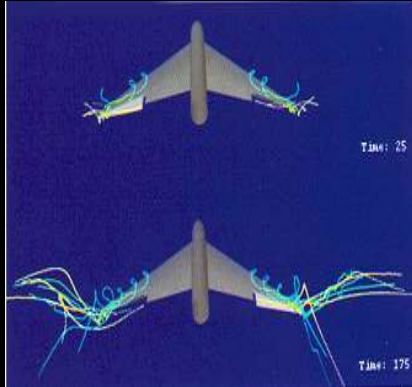
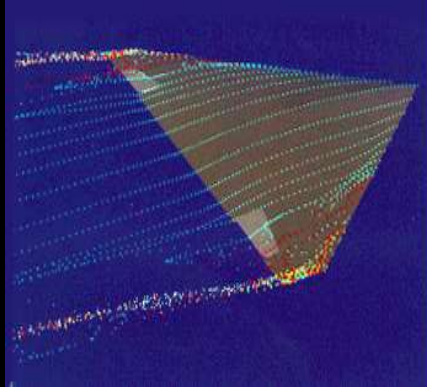


**Streamlines** aplicadas a projeto aerodinâmico: escoamento em torno de uma configuração de aeronave, simulação numérica (Tsze, 1996)

16



## Representações Vetoriais Elementares

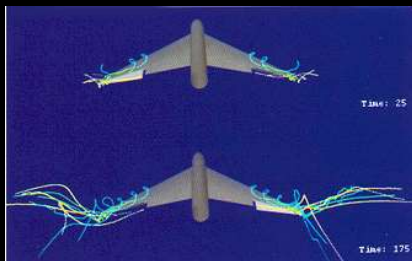
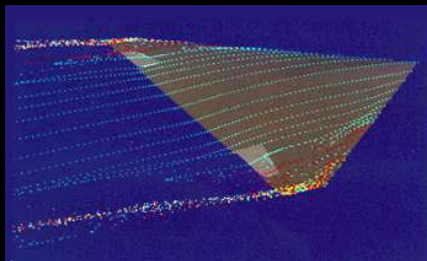


*Streaklines* geradas pelo sistema UFAT (Lane, 1995)

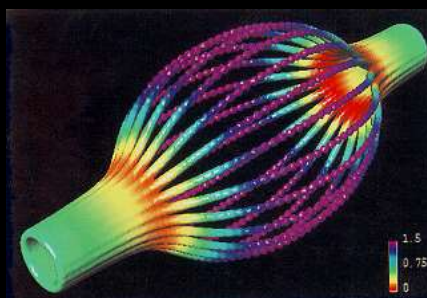
- visualização de escoamentos transientes por animação
- diferentes abordagens à integração do campo
- transmissão de dados via rede, em tempo real

17

## Representações Vetoriais Elementares



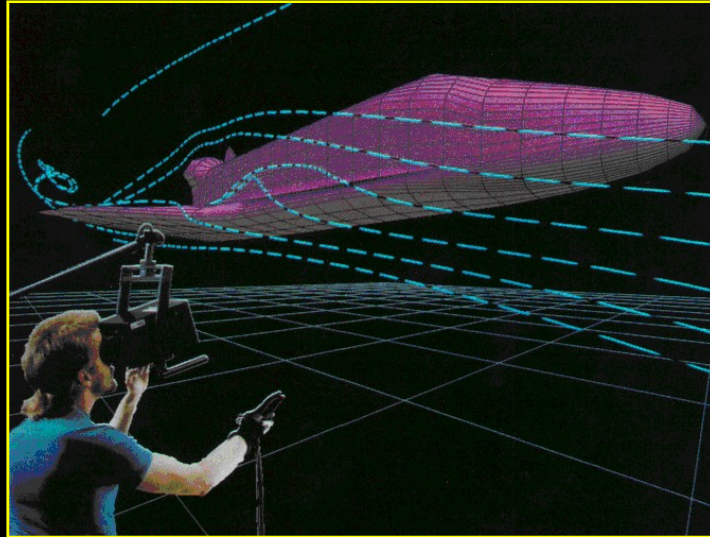
*Streaklines* geradas pelo sistema UFAT (Lane, 1995)



*Streamballs*, abordagem alternativa para representar linhas de escoamento

18

## Representações Vetoriais Elementares



Sistema de realidade virtual para visualização de linhas de escoamento ("The Virtual Wind Tunnel", Bryson et al, 1992)

19

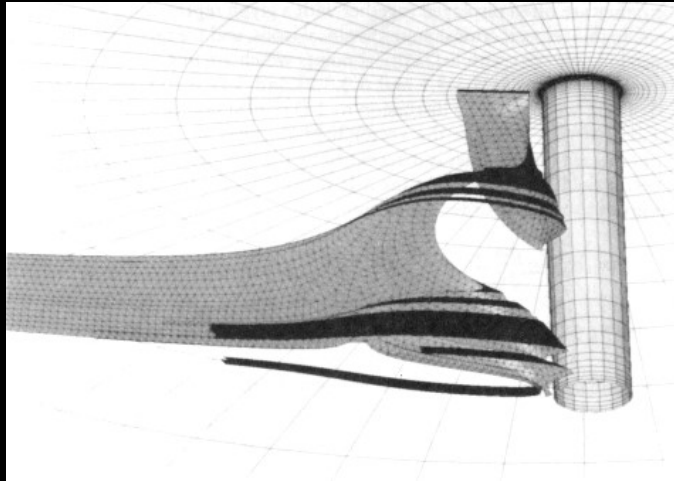
## Representações Vetoriais Elementares

- Superfícies de escoamento (*streamsurfaces*)
  - Extensão natural do conceito de linhas de escoamento
  - Transmitem noção mais organizada do escoamento
  - Maior custo e dificuldade no controle de avanço da integração numérica
  - Integra-se várias linhas de escoamento simultaneamente para vários pontos, e une-se esses pontos por 'tiling'. No caso de divergência, novos pontos são inseridos. Se a divergência for muito grande, ocorre bifurcação

20

## Representações Vetoriais Elementares

### Superfícies de escoamento (*streamsurfaces*)



*Streamsurface* gerada por “tiling” poligonal entre linhas de escoamento adjacentes (Delmarcelle e Hesselink, 1995).

21

## Representações Vetoriais Elementares



*Surface Particles*, representação de superfícies de escoamento por partículas de superfície (Van Wijk, 1993). Escoamento convectivo num aparelho de TV

Partículas são pequenos pedaços de superfícies, separadas pela divergência do fluido

22

# Representações Vetoriais Elementares

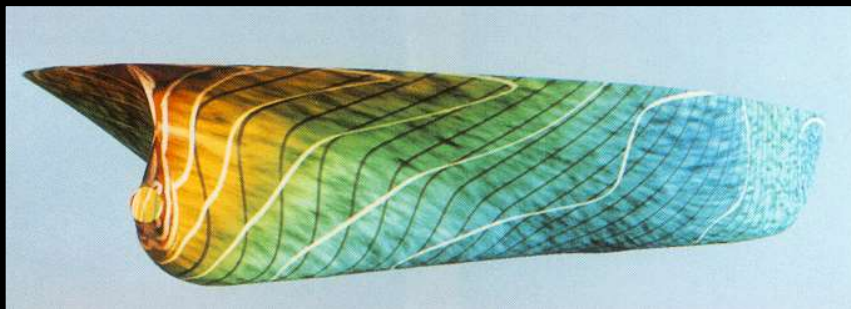
## □ Texturas anisotrópicas

- Não requer integrações dispendiosas
- Possibilidade de aceleração por *hardware*
- Adequada a observações qualitativas do campo
- *Spot Noise*: Texturas estocásticas controláveis
  - Textura proposta corresponde à convolução de padrões geométricos de manchas definidas contra ruído branco
  - O controle da geometria dos padrões de manchas permite controlar diretamente as características da textura final
  - Possível padrão: elipses alongadas na proporção da magnitude da velocidade local e eixo maior orientado na direção do campo. Forma das elipses é alterada pela ação do campo vetorial

23

# Representações Vetoriais Elementares

## Texturas anisotrópicas



Textura *spot noise* para o campo de velocidades superficial no casco de um navio, com mapeamento por cor para indicar pressão local (Van Wijk, 1991)

24

## Representações Vetoriais Elementares

### □ Texturas direcionais

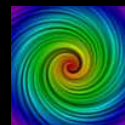
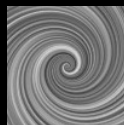
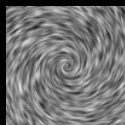
- Padrões de textura na forma de imagens, deformados por *streamlines* geradas sobre o campo, de modo a apresentar o comportamento do fluido 2D
- LIC: *Linear Integral Convolution*. Texturas aleatórias ‘borradas’ ao longo das linhas de escoamento de um fluido estacionário 2D

$$\int_{s_0-L}^{s_0+L} k(s-s_0)T(\sigma(s))ds$$

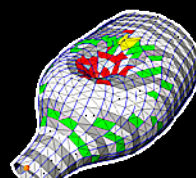
- $\sigma$  *streamline*, T textura, k filtro, normalizado
- Imitam experimentos reais, como gravação de partículas dispersas ou padrões de injeção de tinta 25

## Representações Vetoriais Elementares

### LIC



Podem ser aplicadas sobre superfícies

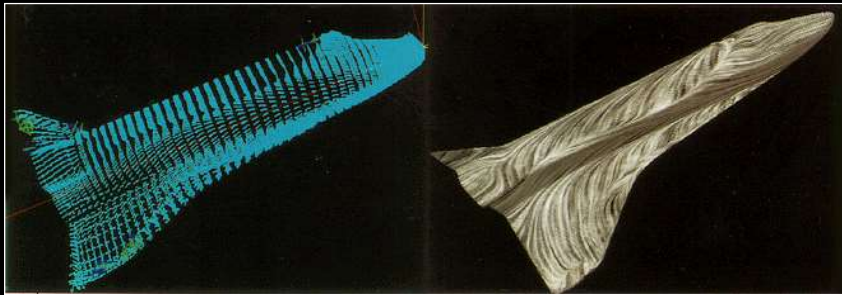


<http://www.zib.de/visual/software/LicFactory/index.html>

26



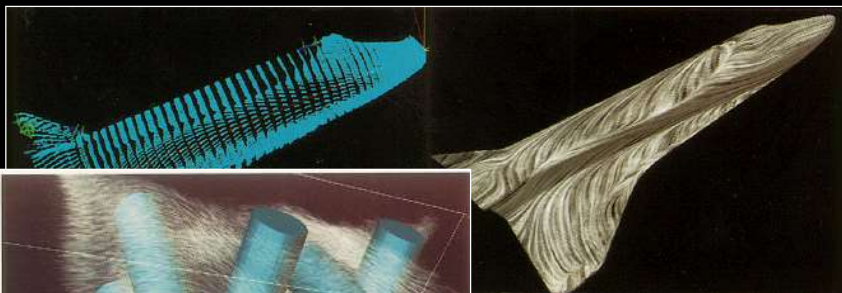
## Representações Vetoriais Elementares



Textura gerada por “*Linear Integral Convolution*” para o campo de velocidades superficial de um ônibus espacial. Comparação com representação por *hedgehogs* (Forsell, 1994)

27

## Representações Vetoriais Elementares



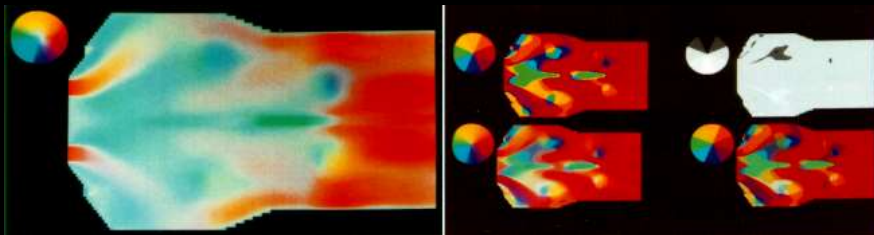
*LIC Linear Integral Convolution*

“*Spot noise*” tridimensional  
(Max, 1994)

28

## Representações Vetoriais Elementares

- Mapeamento de Vetores por Cor (Hall, 1993)
  - Proposta: associação de cores à direção e magnitude
  - Soluciona problema de congestionamento visual
  - Exige treinamento, sofre das restrições associadas ao uso da cor



Representação do campo de velocidades numa secção de uma câmara de combustão (Hall, 1993)

29

## Conclusões

- Grande maioria de representações vetoriais elementares
- Representações globais são muito úteis e pouco utilizadas
- Representações tensoriais ainda são pouco desenvolvidas e utilizadas
- A comunidade de usuários não se utiliza da maioria das técnicas viáveis mais modernas

30