

**pagliosa@facom.ufms.br**

27/7	Aula 1	Introdução	12h30min às 13h	Paulo Pagliosa
27/7	Aula 2	Fundamentos	13h às 14h	Marcelo Siqueira
28/7	Aula 3	Triangulações	12h30min às 14h	Marcelo Siqueira
29/7	Aula 4	Geração de malhas	12h30min às 14h	Afonso Paiva
30/7	Aula 5	Geração de malhas	12h30min às 13h30min	Afonso Paiva
30/7	Aula 6	Aplicação	13h30min às 14h	Paulo Pagliosa
31/7	Aula 7	Aplicação	12h30min às 14h	Paulo Pagliosa

# Introdução

**Aula 1 - 27 de julho de 2015 - 12h30min às 13h**

# Aula 1 – Introdução

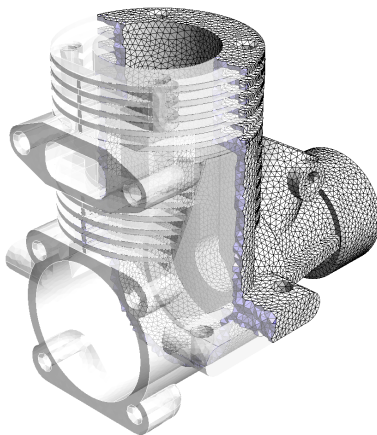
O que é uma **malha**

- ▶ Subdivisão de um domínio geométrico em formas geométricas menores e mais simples, chamadas **células** ou **elementos**

# Aula 1 – Introdução

O que é uma **malha**

- Subdivisão de um domínio geométrico em formas geométricas menores e mais simples, chamadas **células** ou **elementos**



# Aula 1 – Introdução

O que é uma **malha**

- ▶ Subdivisão de um domínio geométrico em formas geométricas menores e mais simples, chamadas **células** ou **elementos**

Malhas são usadas em diversas áreas do conhecimento

- ▶ Geografia e cartografia
- ▶ Processamento gráfico
- ▶ Aplicações em ciências e engenharia

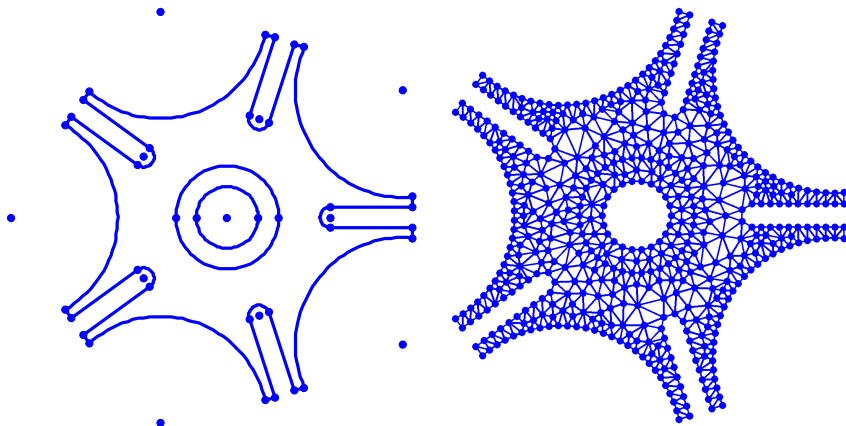
## Método dos elementos finitos (MEF)

- ▶ Método numérico de solução de equações diferenciais parciais
- ▶ Pré-requisito: subdivisão de um domínio  $\Omega$  em elementos

# Aula 1 – Introdução

## Método dos elementos finitos (MEF)

- ▶ Método numérico de solução de equações diferenciais parciais
- ▶ **Pré-requisito:** subdivisão de um domínio  $\Omega$  em elementos





## Método dos elementos finitos (MEF)

- ▶ Método numérico de solução de equações diferenciais parciais
- ▶ Pré-requisito: subdivisão de um domínio  $\Omega$  em elementos
- ▶ Processo de geração de malhas deve ser automático

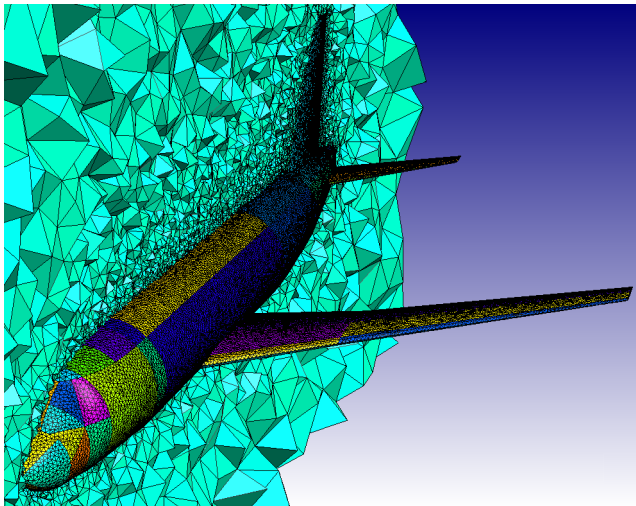
## Método dos elementos finitos (MEF)

- ▶ Método numérico de solução de equações diferenciais parciais
- ▶ Pré-requisito: subdivisão de um domínio  $\Omega$  em elementos
- ▶ Processo de geração de malhas deve ser automático
- ▶ Requisitos da malha
  - ▶ A malha deve estar “em conformidade” com a forma do domínio
  - ▶ A malha não deve ser desnecessariamente “grande”
  - ▶ Tamanho dos elementos pode variar ao longo do domínio
  - ▶ Elementos devem ter forma e tamanhos “corretos”
  - ▶ Elementos podem ser anisótropos

## Método dos elementos finitos (MEF)

- ▶ Método numérico de solução de equações diferenciais parciais
- ▶ **Pré-requisito:** subdivisão de um domínio  $\Omega$  em elementos
- ▶ Processo de **geração de malhas** deve ser **automático**
- ▶ Requisitos da malha
  - ▶ A malha deve estar “em conformidade” com a forma do domínio
  - ▶ A malha não deve ser desnecessariamente “grande”
  - ▶ Tamanho dos elementos pode variar ao longo do domínio
  - ▶ Elementos devem ter forma e tamanhos “corretos”
  - ▶ Elementos podem ser anisótropos
- ▶ Aplicações
  - ▶ Exploração de petróleo
  - ▶ Modelagem de transistores e circuitos integrados
  - ▶ Aerodinâmica de aeronaves e automóveis
  - ▶ Mecânica quântica, terremotos, buracos negros

## Método dos elementos finitos (MEF)



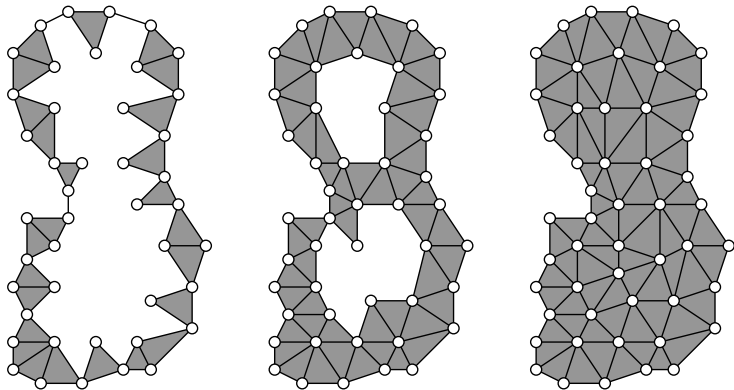
## Geração de malhas

- ▶ Anos 1980: pesquisas pioneiros em engenharia
  - ▶ Métodos: Delaunay, octree, avanço de frente

# Aula 1 – Introdução

## Geração de malhas

- ▶ Anos 1980: pesquisas pioneiras em engenharia
  - ▶ Métodos: Delaunay, octree, **avanço de frente**



## Geração de malhas

- ▶ Anos 1980: pesquisas pioneiros em engenharia
  - ▶ Métodos: Delaunay, octree, **avanço de frente**
  - ▶ Técnicas de “melhoria” da malha

## Geração de malhas

- ▶ Anos 1980: pesquisas pioneiros em engenharia
  - ▶ Métodos: Delaunay, octree, **avanço de frente**
  - ▶ Técnicas de “melhoria” da malha
  - ▶ Deficiências: algoritmos não-robustos, malhas “insatisfatórias”

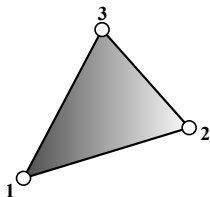


## Geração de malhas

- ▶ Anos 1980: pesquisas pioneiros em engenharia
  - ▶ Métodos: Delaunay, octree, **avanço de frente**
  - ▶ Técnicas de “melhoria” da malha
  - ▶ Deficiências: algoritmos não-robustos, malhas “insatisfatórias”
- ▶ Anos 1990: geração de malhas **comprovadamente** “boas”
- ▶ Anos 2000: geração de malhas torna-se maior que o MEF
  - ▶ Animação por computador
  - ▶ Processamento de imagens
  - ▶ Sistemas de informação geográfica
  - ▶ ...

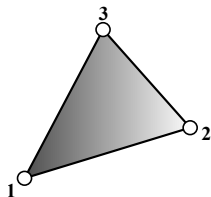
## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 2D: domínios 2D e malhas de superfície em 3D
  - ▶ Triângulo linear

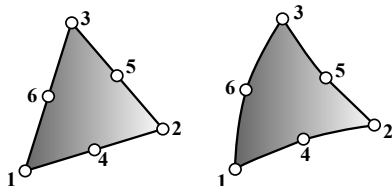


## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 2D: domínios 2D e malhas de superfície em 3D
  - ▶ Triângulo linear

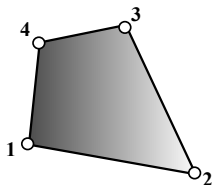


- ▶ Triângulo quadrático



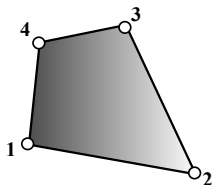
## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 2D: domínios 2D e malhas de superfície em 3D
  - ▶ Quadrilátero linear

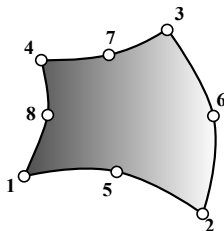


## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 2D: domínios 2D e malhas de superfície em 3D
  - ▶ Quadrilátero linear

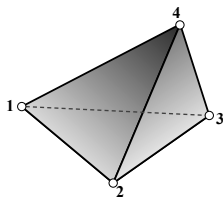


- ▶ Quadrilátero quadrático



## Tipos de malhas

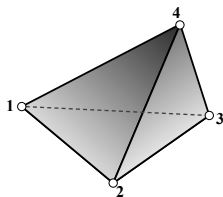
- ▶ Elementos 3D
  - ▶ Tetraedro linear



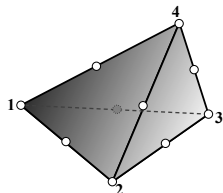
# Aula 1 – Introdução

## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 3D
  - ▶ Tetraedro linear

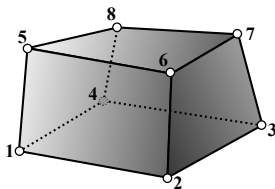


- ▶ Tetraedro quadrático



## Tipos de malhas

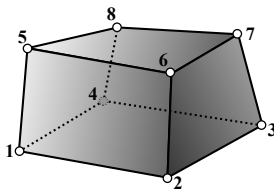
- ▶ Elementos 3D
  - ▶ Hexaedro linear



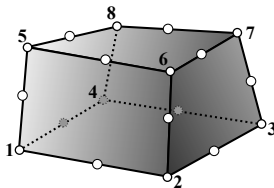


## Tipos de malhas

- ▶ Elementos 3D
  - ▶ Hexaedro linear



- ▶ Hexaedro quadrático



# Aula 1 – Introdução

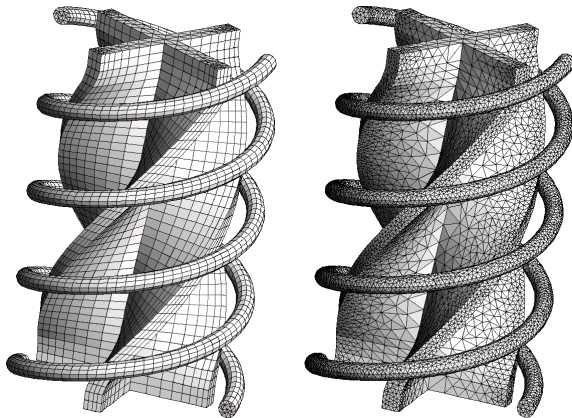
## Tipos de malhas

- ▶ Malhas **simpliciais**: triângulos e tetraedros

# Aula 1 – Introdução

## Tipos de malhas

- ▶ Malhas **simpliciais**: triângulos e tetraedros
- ▶ Malhas estruturadas/**não-estruturadas**



# Aula 1 – Introdução

Neste curso

- ▶ Malhas 2D, simpliciais, não-estruturadas

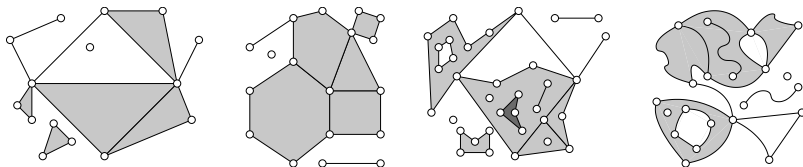
# Aula 1 – Introdução

Neste curso

- ▶ Malhas 2D, simpliciais, não-estruturadas

Objetivo da geração de malhas: **triangulação** de um domínio planar

- ▶ Entrada: **complexo linear por partes**
- ▶ Saída: **complexo simplicial**



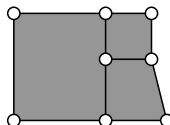
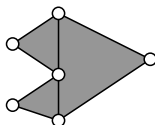
# Aula 1 – Introdução

Neste curso

- ▶ Malhas 2D, simpliciais, não-estruturadas

Objetivo da geração de malhas: **triangulação** de um domínio planar

- ▶ Entrada: **complexo linear por partes**
- ▶ Saída: **complexo simplicial**
  - ▶ Malhas de elementos **conformes**



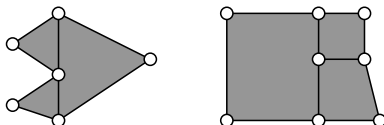
# Aula 1 – Introdução

Neste curso

- ▶ Malhas 2D, simpliciais, não-estruturadas

Objetivo da geração de malhas: **triangulação** de um domínio planar

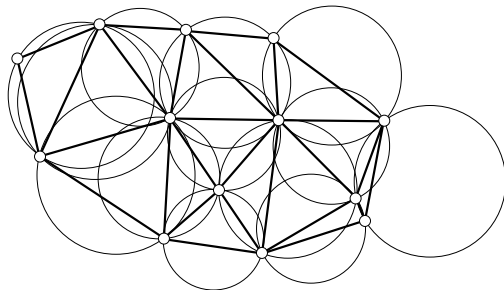
- ▶ Entrada: **complexo linear por partes**
- ▶ Saída: **complexo simplicial**
  - ▶ Malhas de elementos **conformes**



- ▶ Elementos com restrições de tamanho e forma

## Geração de malhas por refinamento de Delaunay

- ▶ Baseada na **triangulação de Delaunay**
  - ▶ Todo triângulo tem circuncírculo vazio
  - ▶ Maximiza o ângulo mínimo





# Aula 1 – Introdução

## Geração de malhas por refinamento de Delaunay

- ▶ Baseada na **triangulação de Delaunay**
- ▶ Malha conforme ao domínio, sem elementos “magros”
  - ▶ Triangulação de Delaunay **restrita**
  - ▶ Triangulação de Delaunay **conforme**: pontos de Steiner

