

Introdução à Modelagem

Prof. Alfredo Gay Neto
Prof. Miguel Bucalem

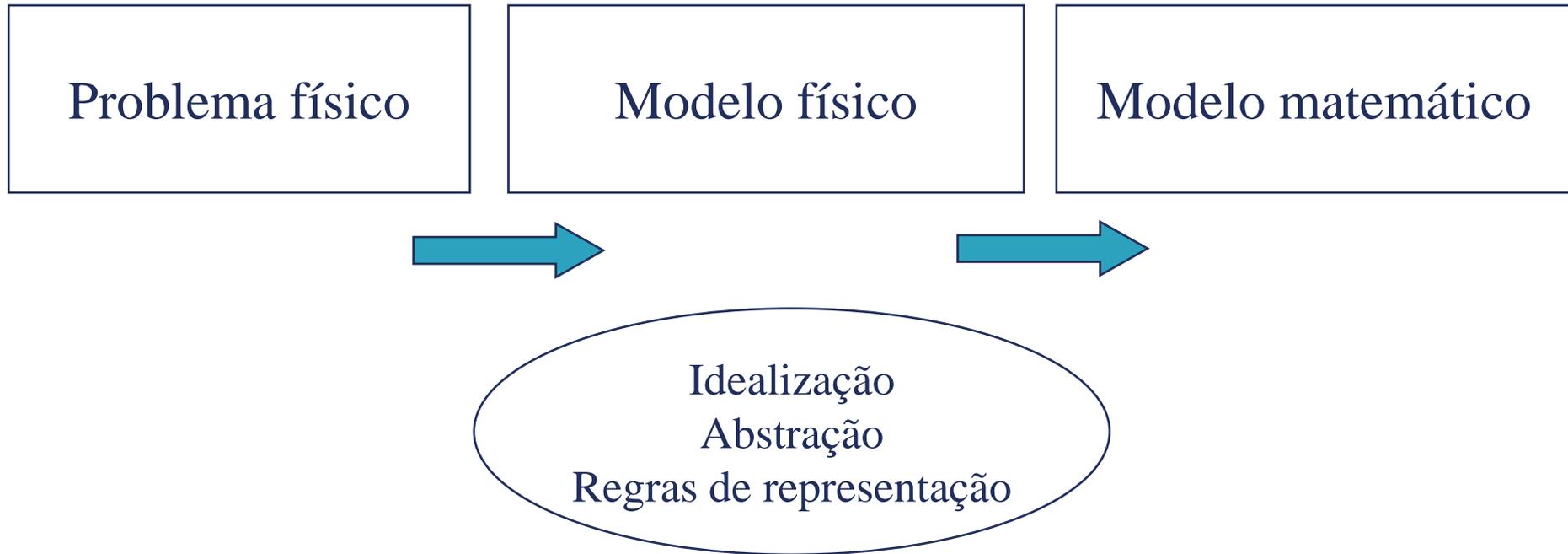


PEFUSP

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
DE ESTRUTURAS E GEOTÉCNICA

PEF 3302

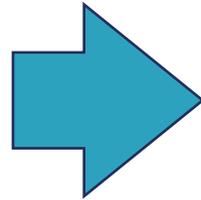
- ▶ Um modelo é uma representação aproximada da realidade



- ▶ Na engenharia sempre se recorre à modelagem para previsão de falhas/eventos
- ▶ Todo modelo possui hipóteses simplificadoras, ainda que sejam mais ou menos restritivas

- ▶ Consiste na escolha sucessiva de modelos, de acordo com a necessidade(s) e pergunta(s) a serem respondidas
 - Modelos analíticos
 - Modelos numéricos

Problema Físico



Modelo Matemático 1

Modelo Matemático 2

Modelo Matemático 3

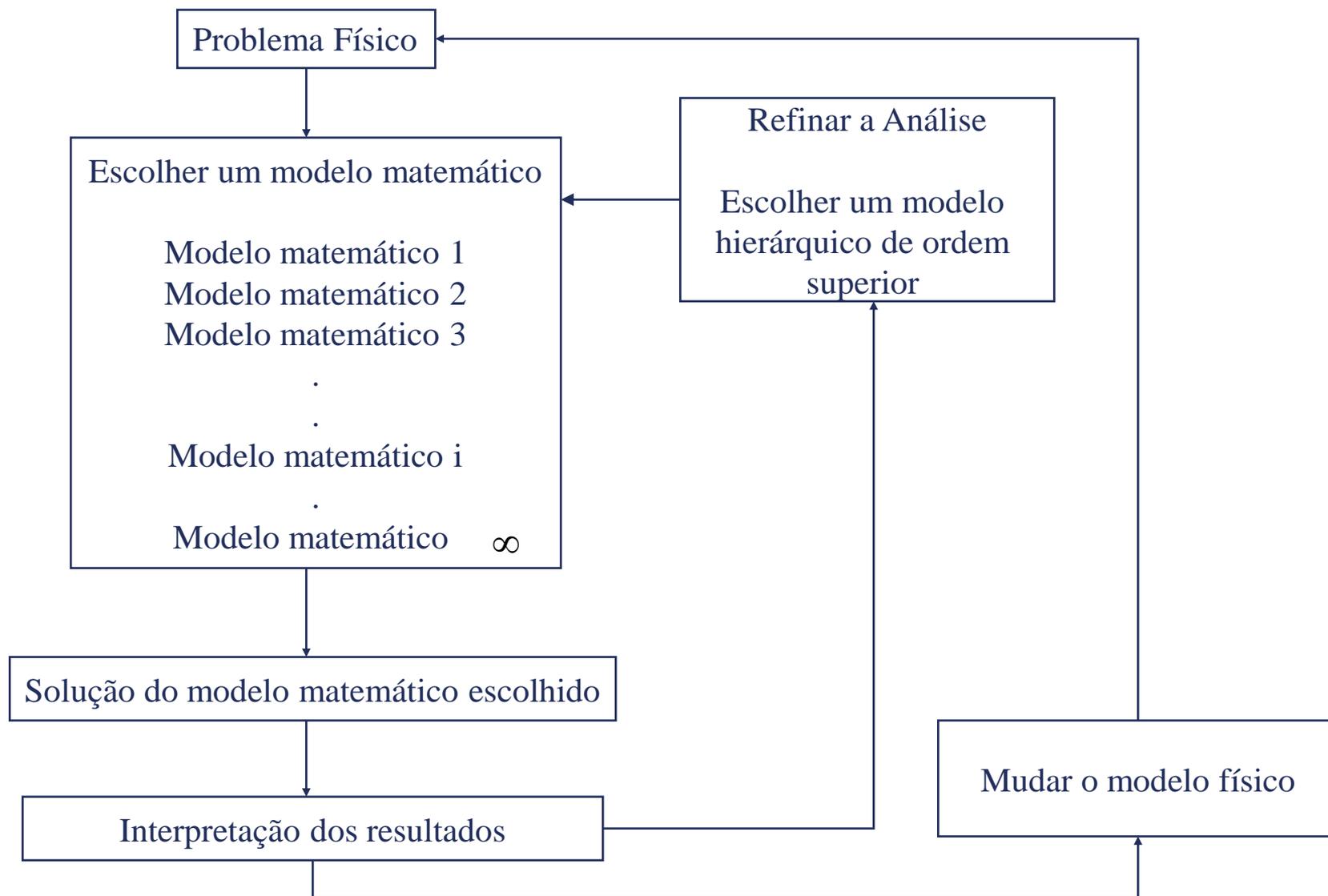
.

Modelo Matemático i

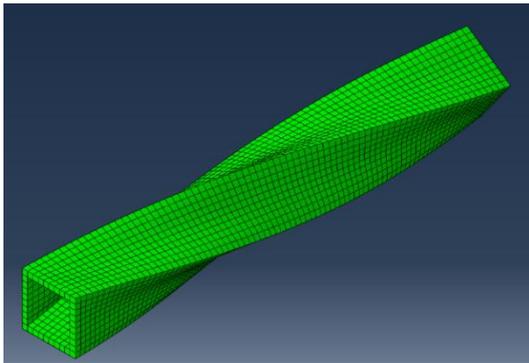
.

Modelo Matemático ∞

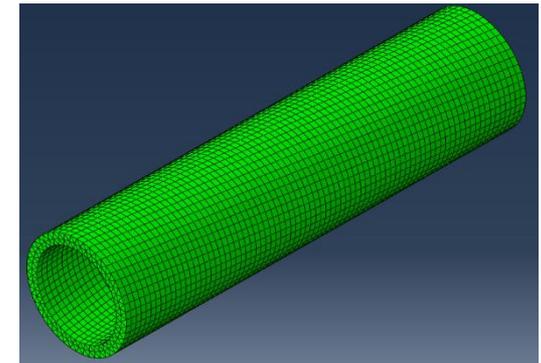
Loop de modelagem hierárquica



- ▶ Um modelo sólido 3D representa um problema físico da forma mais exata possível
 - Não são feitas simplificações na cinemática a priori
 - É possível representar um nível muito fiel de detalhamento geométrico



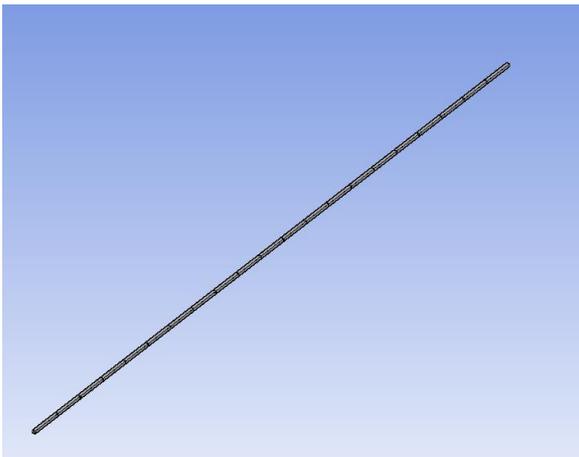
Exemplo: problema de torção modelado com elementos sólidos 3D - MEF
O empenamento surge naturalmente!



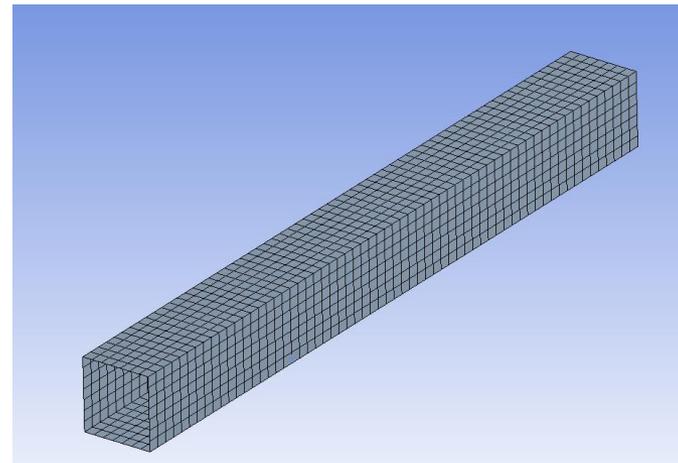
- ▶ É possível realizar algumas simplificações cinemáticas, levando aos chamados modelos sólidos 2D
 - Estado Plano de Tensão
 - Estado Plano de Deformação
 - Modelos axi-simétricos

- ▶ Um modelo estrutural é aquele que possui suas bases nas hipóteses cinemáticas de alguma teoria estrutural, tais como:
 - Barras (Euler–Bernoulli ou Timoshenko)
 - Placas (Kirchhoff–Love ou Mindlin–Reissner)
 - Membranas
 - Cascas

Exemplo: o mesmo sólido do exemplo anterior modelado com elementos de barra e placa 3D – MEF



Barra: somente o eixo é representado na geometria do modelo

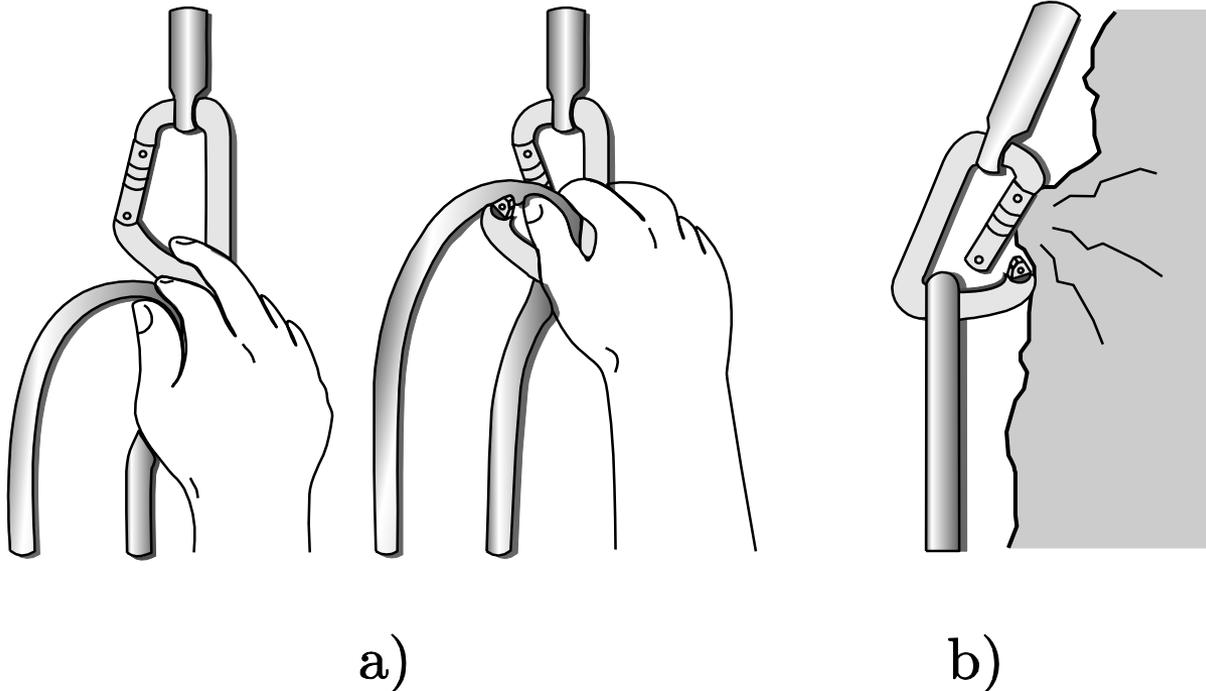


Placa: a superfície média de cada placa é representada no modelo

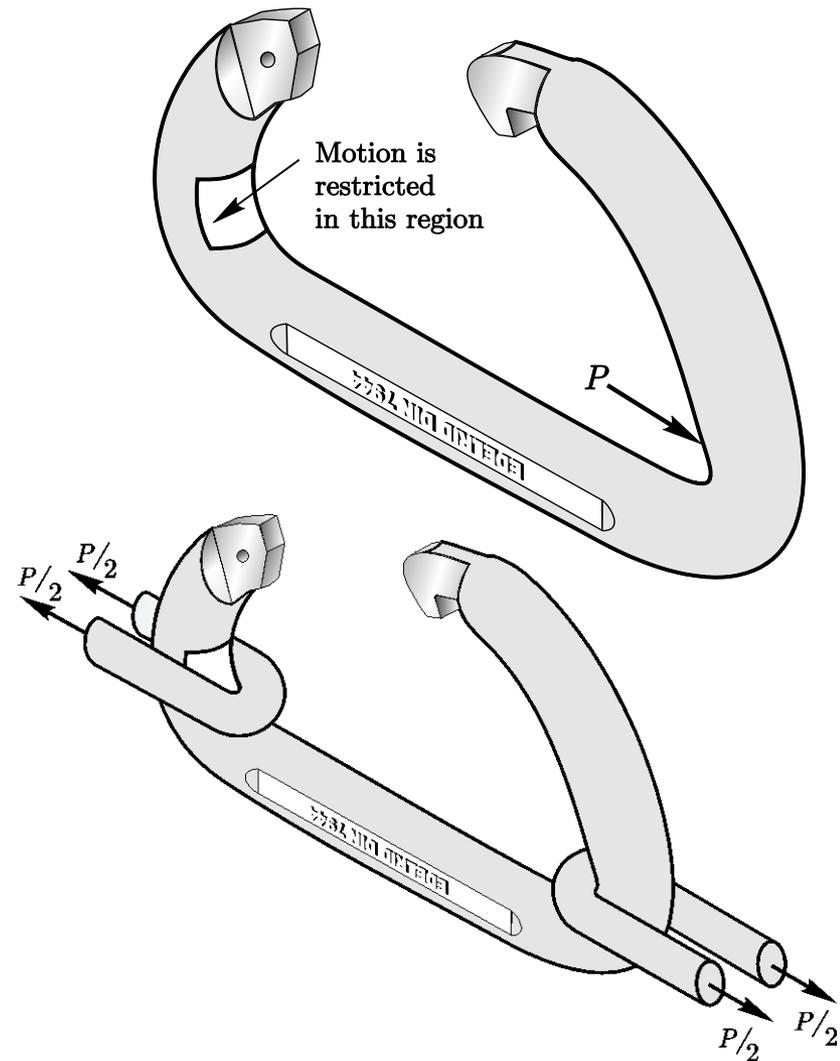
- ▶ Deseja-se analisar os esforços mecânicos na estrutura abaixo
 - Ela suporta até qual carga?
 - Do que dependem os esforços nessa estrutura?



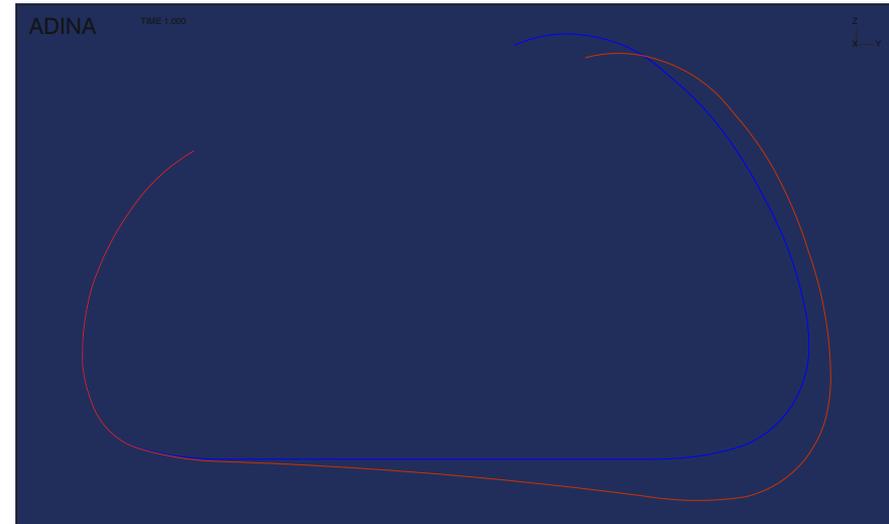
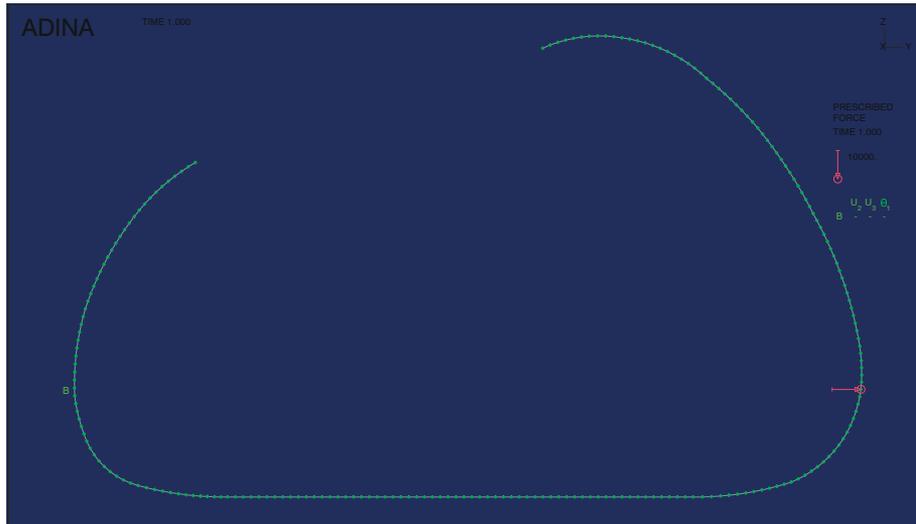
- ▶ a) Fixação da corda
- ▶ b) Utilização e contato/interação com a rocha da montanha
- ▶ É necessário propor um modelo físico para o estudo de determinada situação de interesse



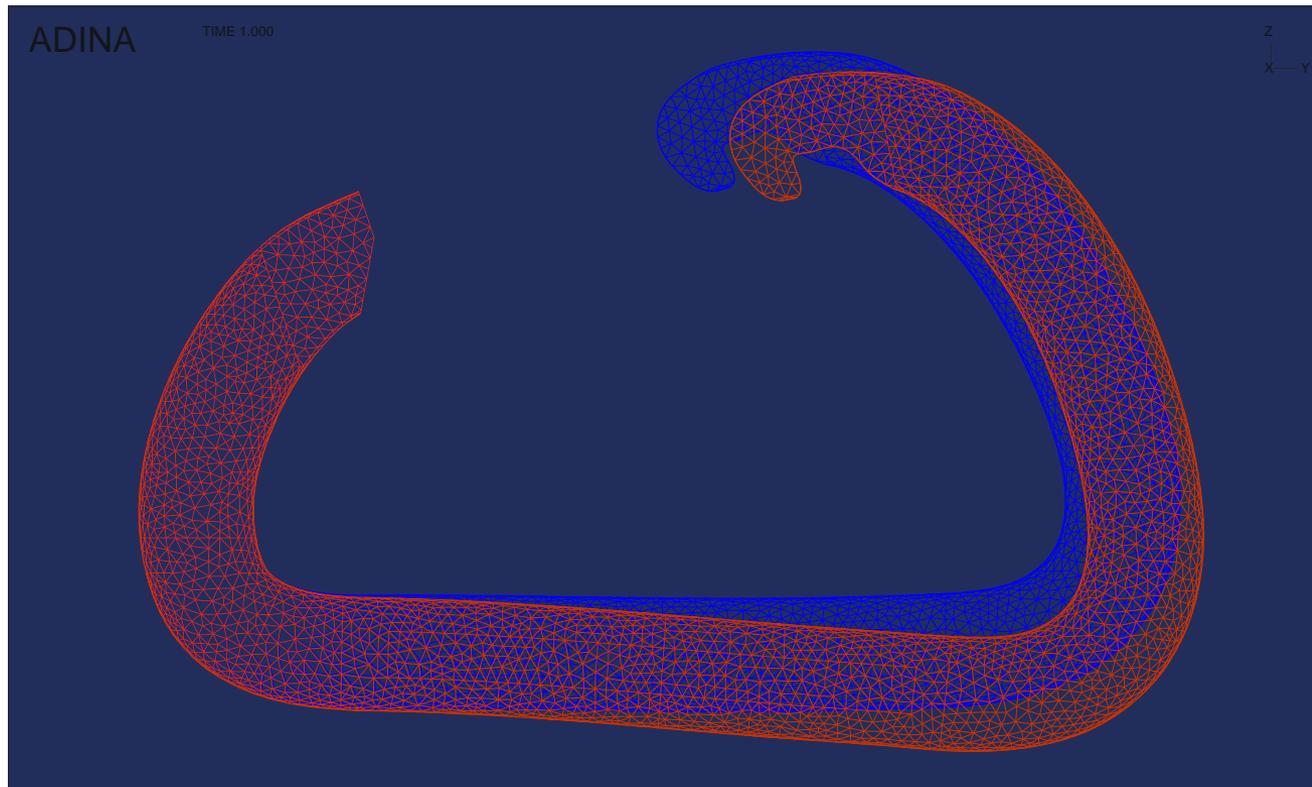
- ▶ A proposta de um modelo físico é um processo que remete à observação da física
- ▶ A percepção do profissional de modelagem é essencial para a concepção de um bom modelo físico
 - Que seja capaz de representar a realidade com a precisão necessária



- ▶ Modelo com barras
 - Representação do eixo de barras
 - Modelo estrutural (possui hipóteses associadas a alguma teoria estrutural)



- ▶ Modelo sólido
 - Representação da geometria do problema de forma realista
 - Não há hipóteses de nenhuma teoria estrutural

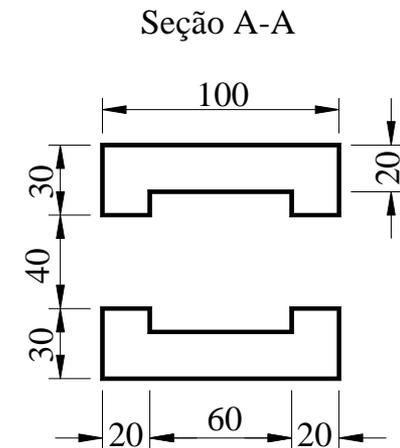
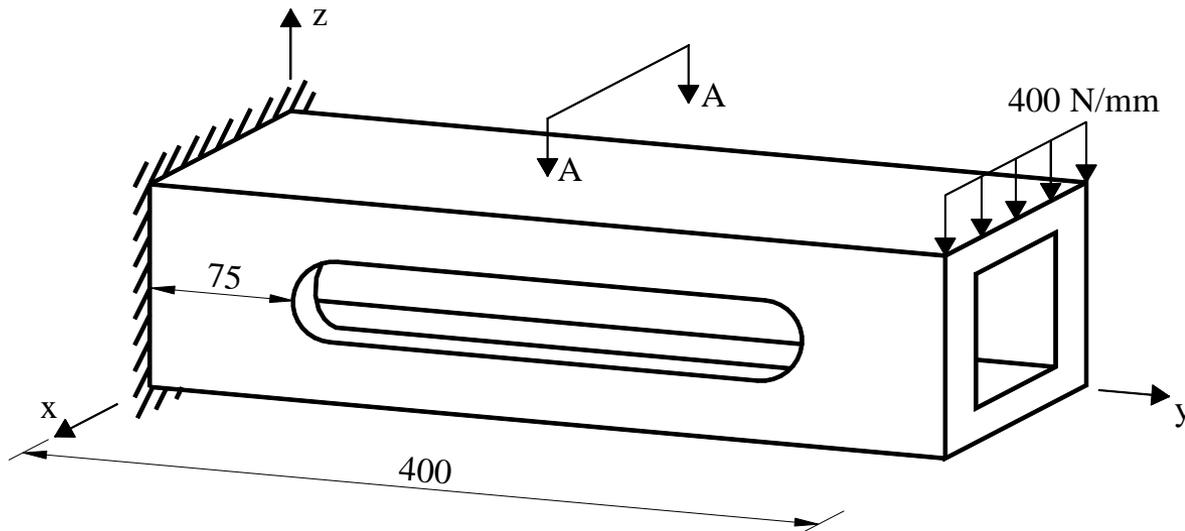


Comentários gerais sobre modelos estruturais vs. sólidos

- ▶ Elementos finitos estruturais representam uma alternativa muito importante quando comparados a modelos sólidos 3D/2D
- ▶ Geralmente há economia significativa de graus de liberdade para representação de um modelo com boa representatividade
- ▶ É necessário que o sólido a ser analisado obedeça as hipóteses da teoria estrutural adotada, caso contrário a solução não é confiável

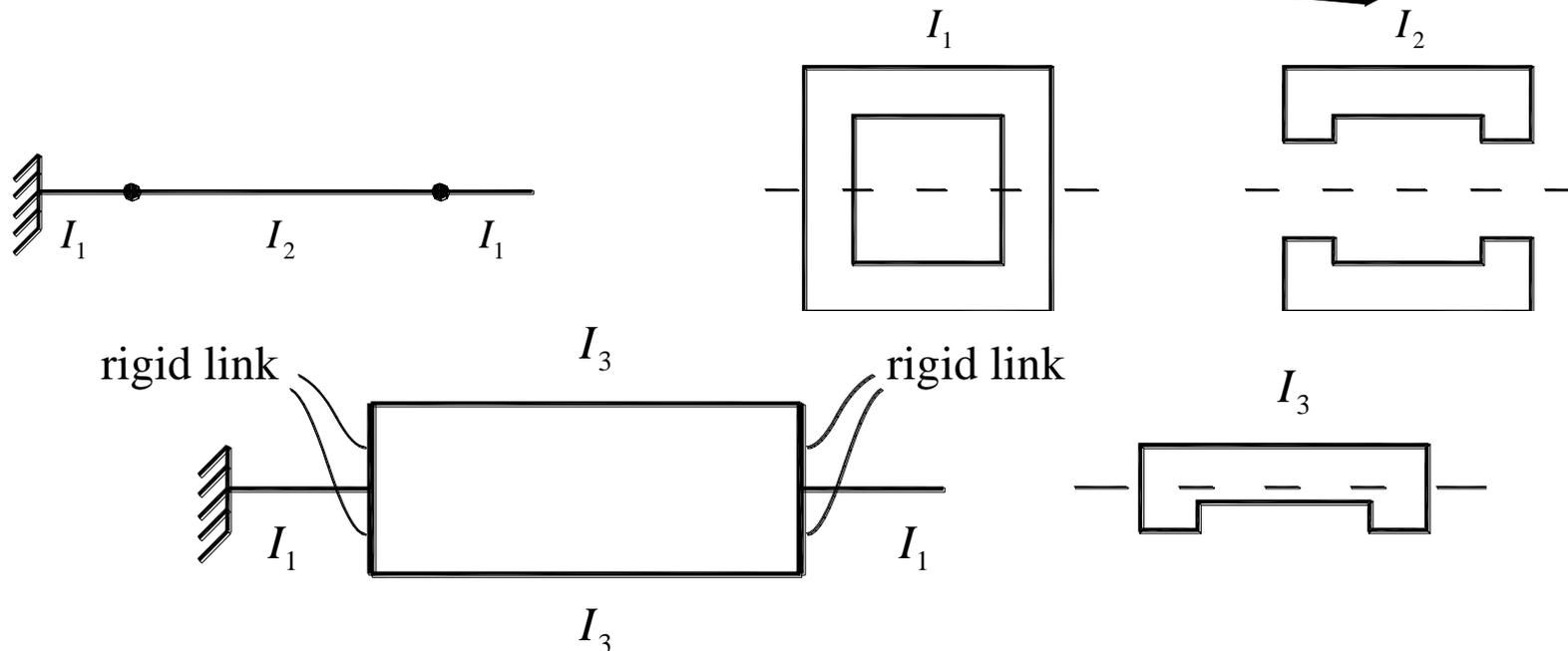
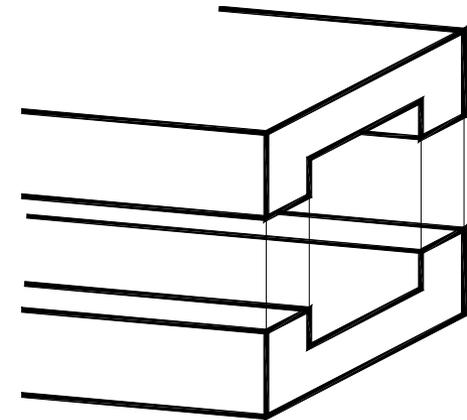
Exemplo: modelagem de uma ferramenta de manufatura

- ▶ Modelos hierárquicos:
 - Viga de Bernoulli-Euler com ligações rígidas
 - Casca
 - Sólido 3D



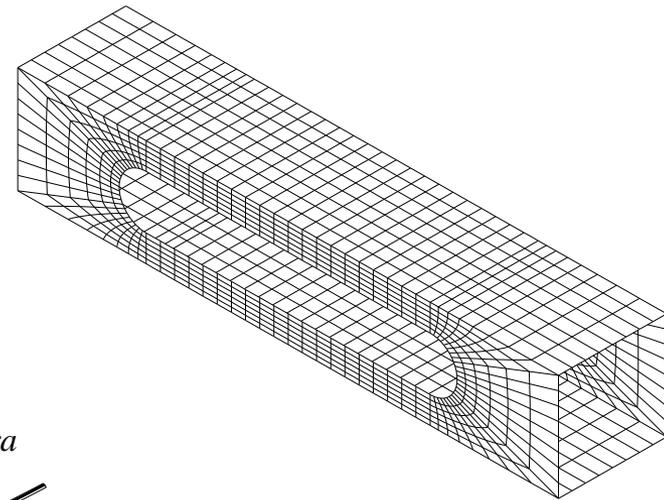
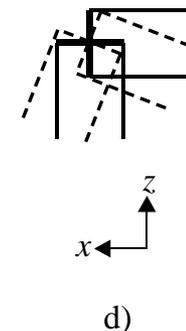
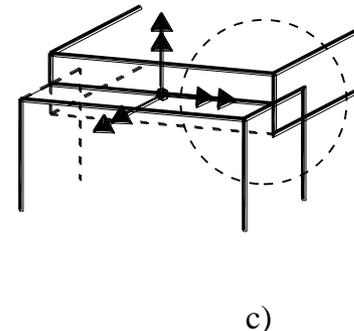
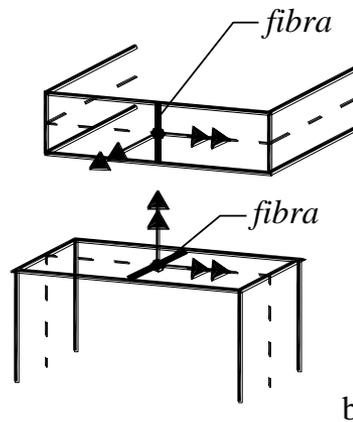
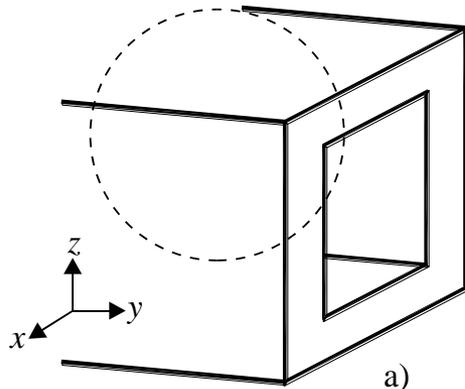
Unidades em milímetros

- ▶ Não representa adequadamente o comportamento físico na região do furo
- ▶ As seções transversais na região do furo não se comportam como uma seção de viga



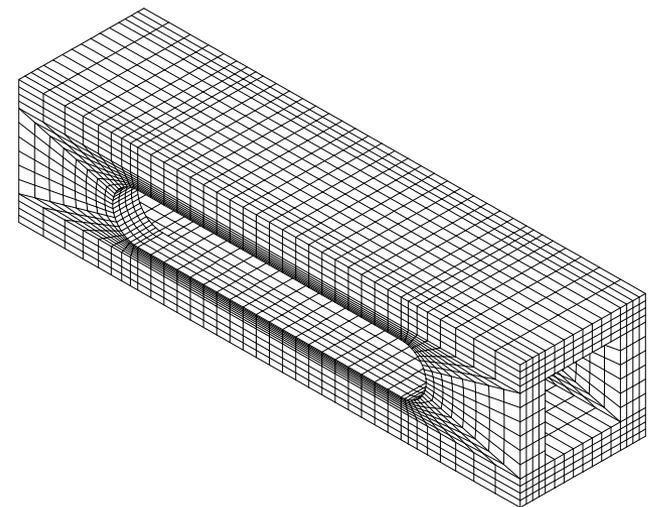
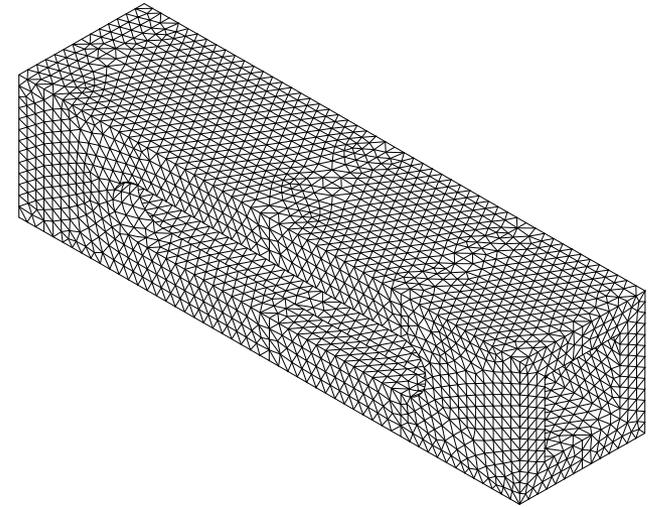
- ▶ Representa a estrutura considerando seu plano médio
- ▶ Há várias teorias e hipóteses disponíveis
 - Espessuras finas
 - Espessuras moderadas
 - Materiais compósitos

- Simplificações (cantos):

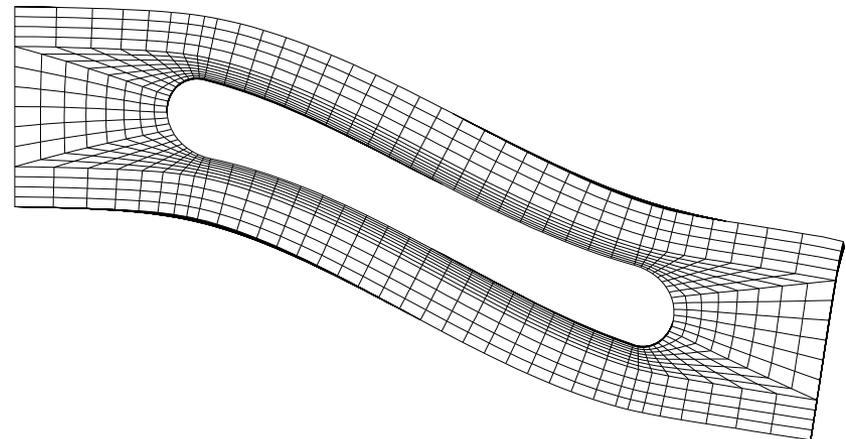
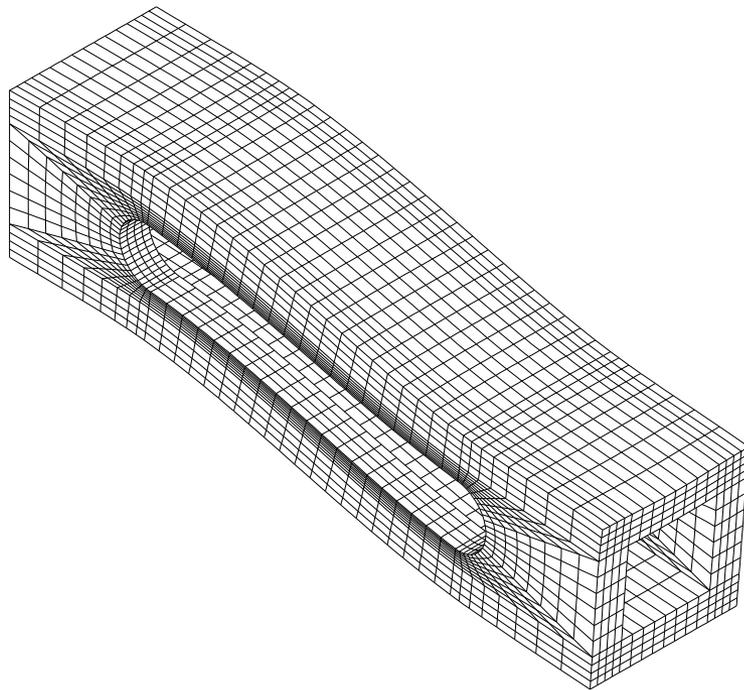


- ▶ **Malha tetraédrica livre**
 - Em geral necessita de mais graus de liberdade para apresentar convergência
 - Versátil e fácil de gerar em qualquer geometria

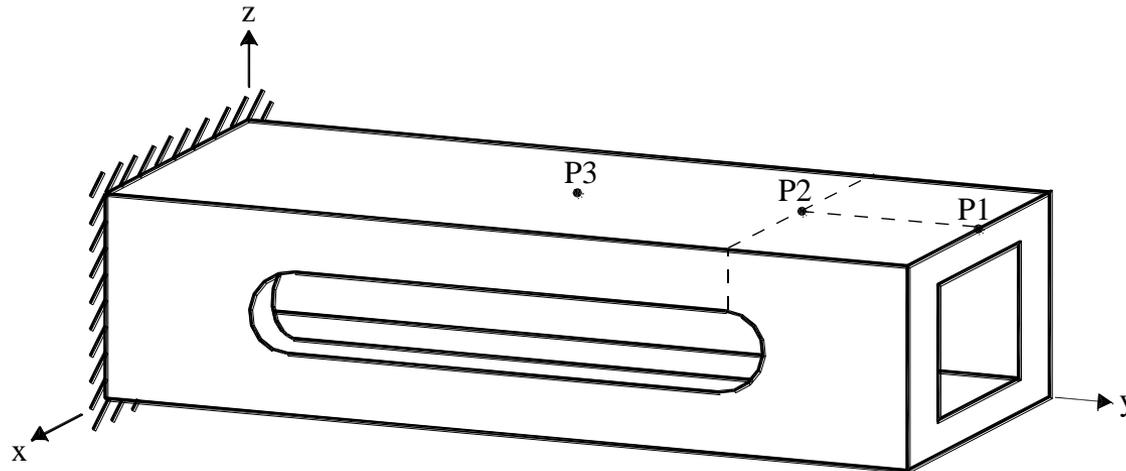
- ▶ **Malha hexaédrica mapeada**
 - Em geral necessita de menos graus de liberdade para apresentar convergência
 - Menos versátil e mais difícil de gerar
 - Requer subdivisões geométricas



- ▶ Configuração deformada

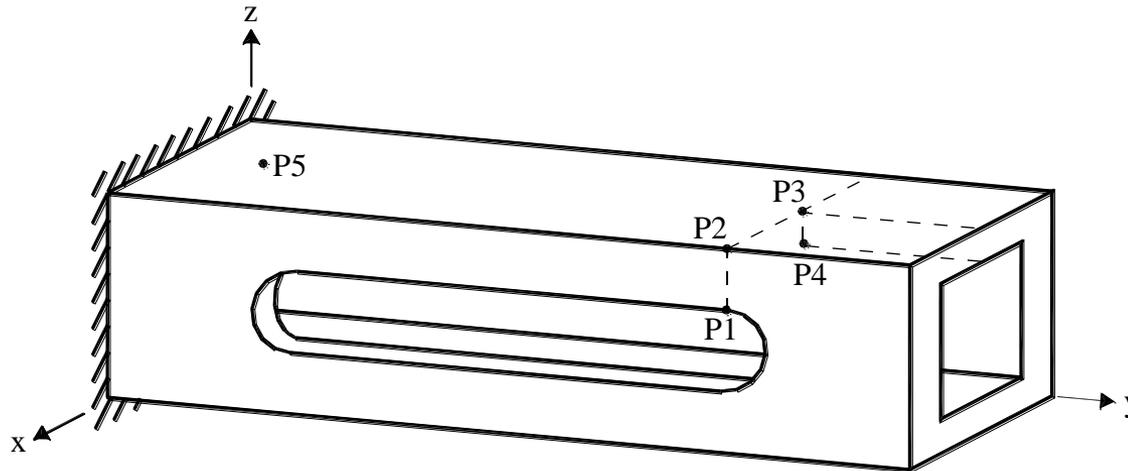


Comparação entre modelos: deslocamento na direção z



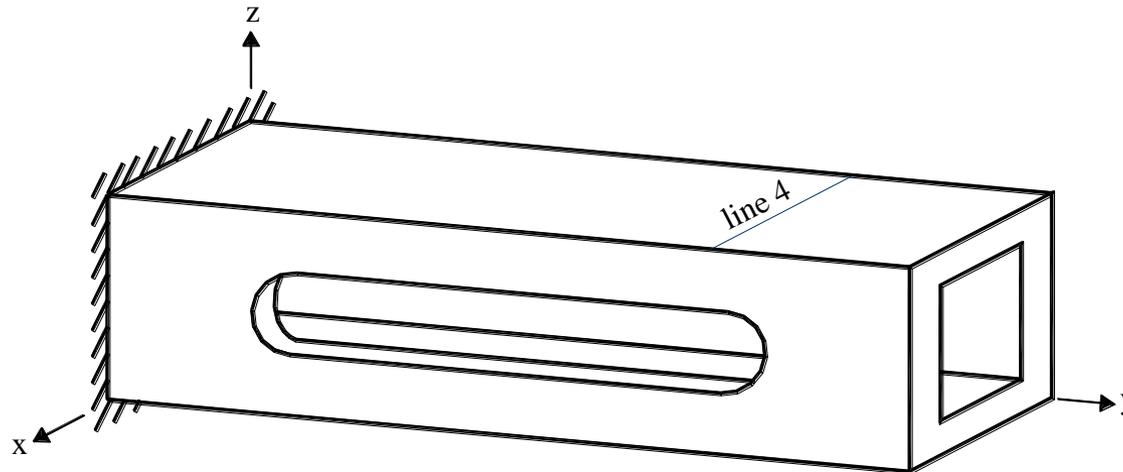
Modelo	P1	P2	P3
Viga	-0.569	-0.370	-0.177
Viga c/ ligações rígidas	-1.358	-1.158	-0.582
Casca	-1.448	-1.175	-0.607
Sólido 3-D (malha <i>advancing-front</i>)	-1.637	-1.335	-0.688
Sólido 3-D (malha <i>mapped</i>)	-1.635	-1.336	-0.688

Comparação entre modelos: tensão normal

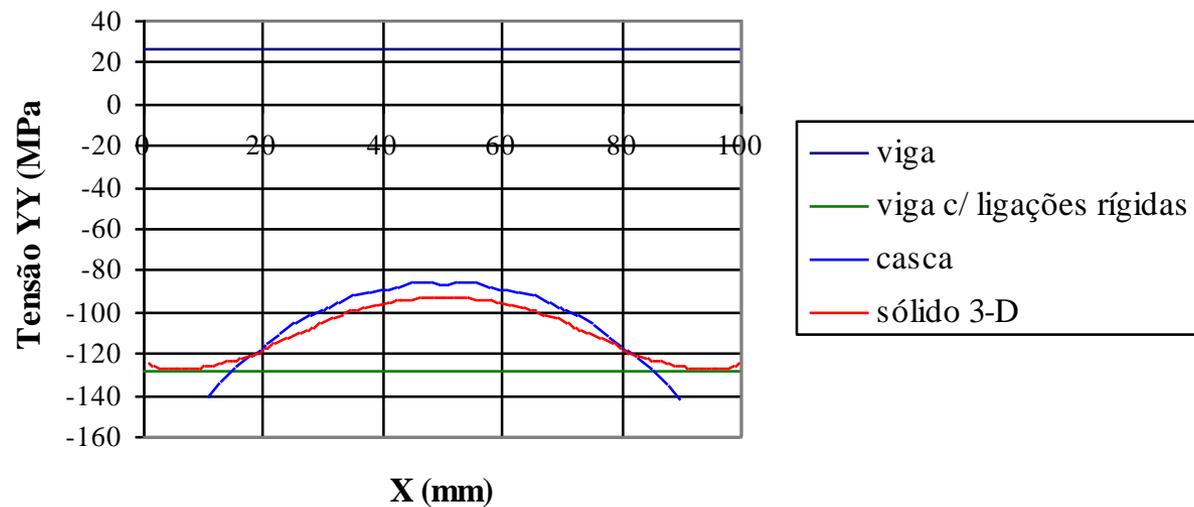
 σ_{yy} 

Modelo	P1	P2	P3	P4	P5
Viga	10,79	26,99	26,99	16,19	104,78
Viga c/ ligações rígidas	276,04	-128,34	-128,34	141,24	104,78
Casca	274,26	-91,12	-86,57	92,97	104,60
Sólido 3-D (malha <i>advancing-front</i>)	305,49	-127,11	-94,47	118,57	118,37
Sólido 3-D (malha <i>mapped</i>)	301,64	-128,20	-94,92	118,93	117,88

Comparação entre modelos: tensão normal

 σ_{yy} 

Tensão YY - Linha 4



- Modelos de baixa ordem permitem o entendimento do comportamento físico e a possibilidade de realizar estudos paramétricos.
- Modelos de alta ordem levam a previsões mais realistas.
- A modelagem deve ser cuidadosa:
 - É difícil julgar a resposta de modelos de alta ordem sem previamente ter resolvido modelos de baixa ordem.