

MODELAGEM DE ESTRUTURAS DE AÇO E MISTAS

Pedro Colmar Gonçalves da Silva Vellasco

Prof. Titular de Estruturas de Aço e Mistas

Departamento de Estruturas e Fundações

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Escopo da Apresentação

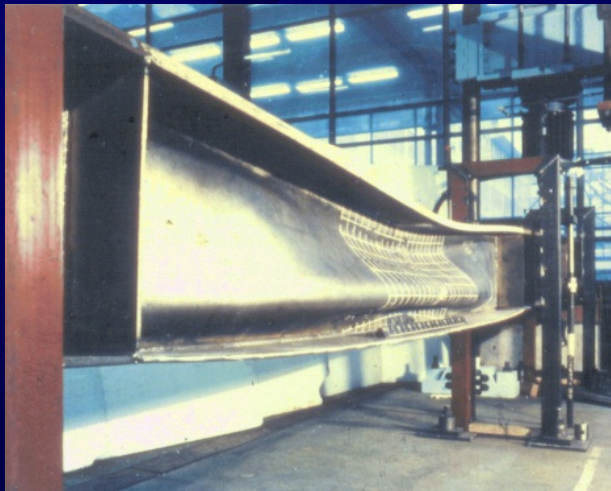
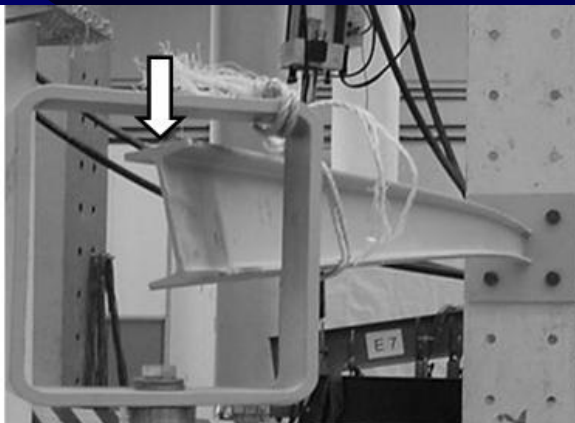
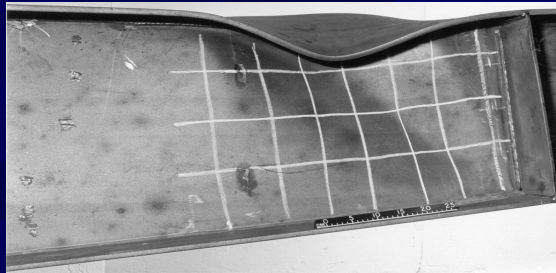
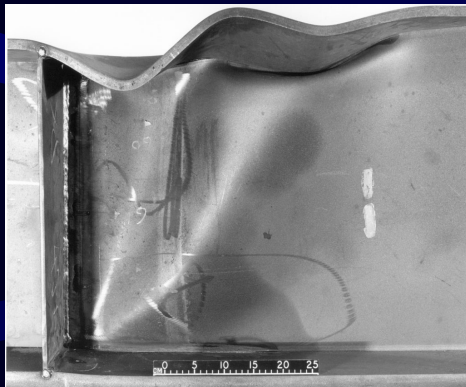
- Introdução
- Modelagem Experimental
- Modelagem com Método dos Elementos Finitos
- Modelagem com Técnicas de Inteligência Computacional
- Considerações Finais

Introdução

- Esta apresentação → principais objetivos → fomentar → uso → estruturas aço e mistas → dinamizar → formação → nova geração engenheiros → familiarizados → difundir → Brasil → dimensionamento + técnicas construtivas → entendimento → comport. → membros → estr. global
- Entendimento → pleno desenvolvimento → modelos → laboratório e numéricos → comportamento de elementos e sistemas estruturais → compreensão → fenômenos → resistência → instabilidade → rigidez → efeitos fabricação → montagem → sistemas → aço e mistos.

Introdução

- Comportamento estrutural → entendimento → fenômenos físicos → estados limites últimos → flambagem local da mesa → flambagem local da alma → flambagem lateral à torção → formação de rótulas plásticas → fissuras



Introdução

- Modelos Experimentais → aço e mistas → experimentos → fundamentais → entendimento/calibração → comportamento
- Elementos finitos → não lineares → principais detalhes e restrições → dificuldades → estratégias solução → métodos → superar → convergência
- Inteligência Computacional → simulação → comportamento → descritos e aplicados → foco → vantagens → escopo/limitações

Modelagem Experimental

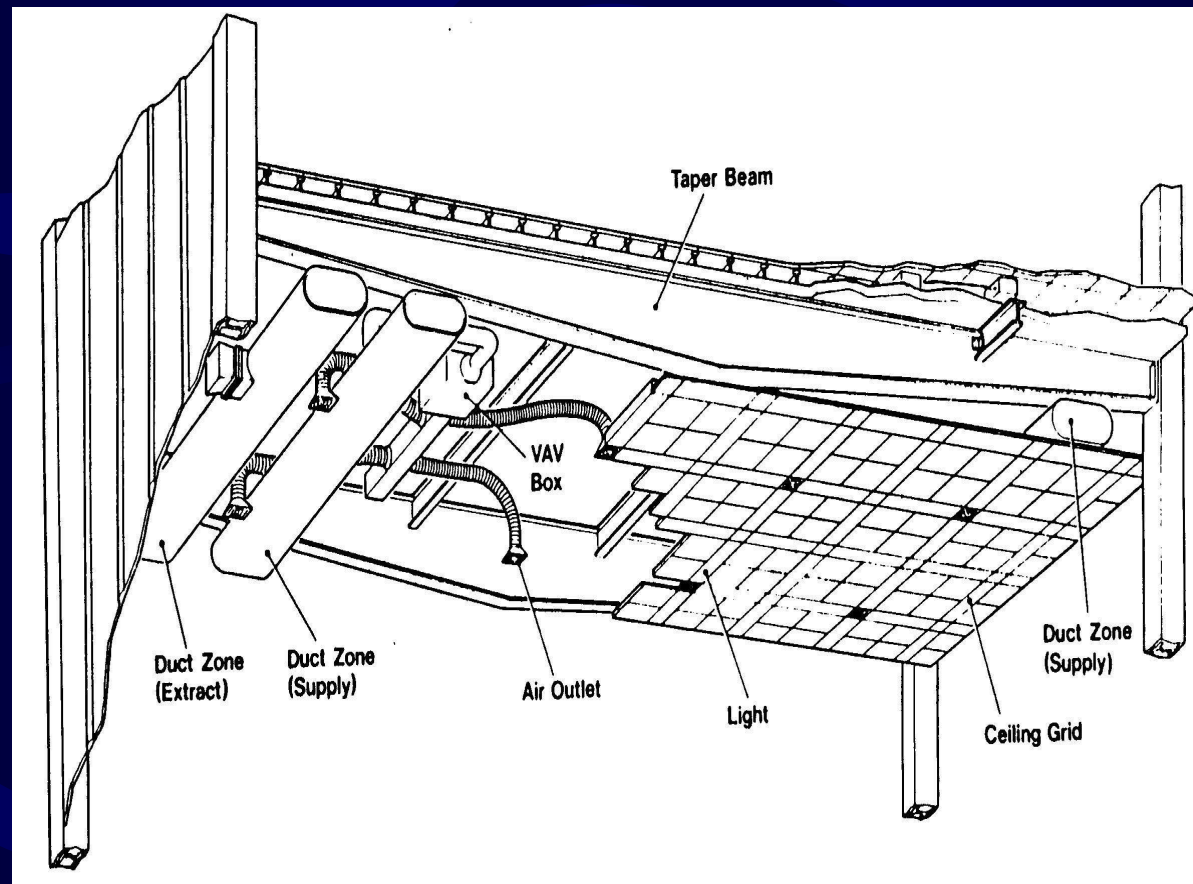
- Conceção → experimentos → cuidado → o que se espera observar e medir → ferramenta útil → planejamento → trajetórias esforços → estrutura
- Instrumentação → medições c/ redundância → motivo → grande variabilidade → medidas → calibrar → fidedignidade grandezas monitoradas.
- Modelos → sistemas carga → acompanhem → cuidado → uso caixas rolete → rótulas universais → aparatos → segurar a estrutura → medida → se retira o carregamento → aumentar curso atuadores → modo compensar → flechas

Modelagem Experimental

- Medidas demais → dificultam → interpretação e análise de dados → Muitas vezes → ensaios → extremamente bem descritos e tratados → milhares de informações + gráficos →
- Porém → cada vez + → falta análise e correta interpretação → destes valores → massa de dados bruta → pouco uso imediato → muitos casos → fundamental → filtragem → informações relevantes → correta interpretação → modelo

Modelagem Experimental

- Flambagem alma vigas mistas c/ inércia variável



Modelagem Experimental

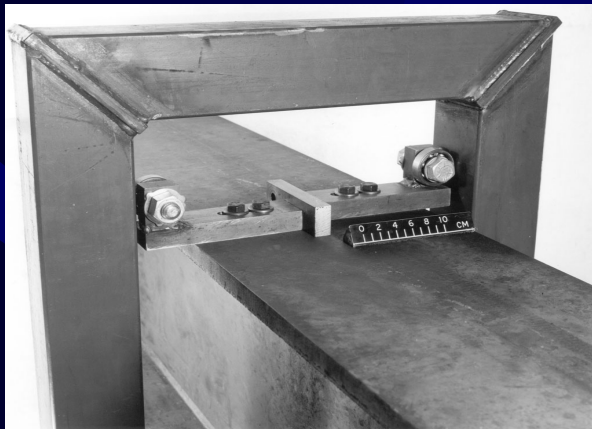
- Flambagem alma vigas mistas c/ inércia variável
- Carregamento → monotonicamente aplicado → 2 atuadores → rótulas → extremidades → Todo o aparato experimental → fortemente ligado → laje de reação → sistema → cilindros de aço → sobre blocos de concreto → simular apoios → 1º gênero



- Colaboração:
Imperial
College London

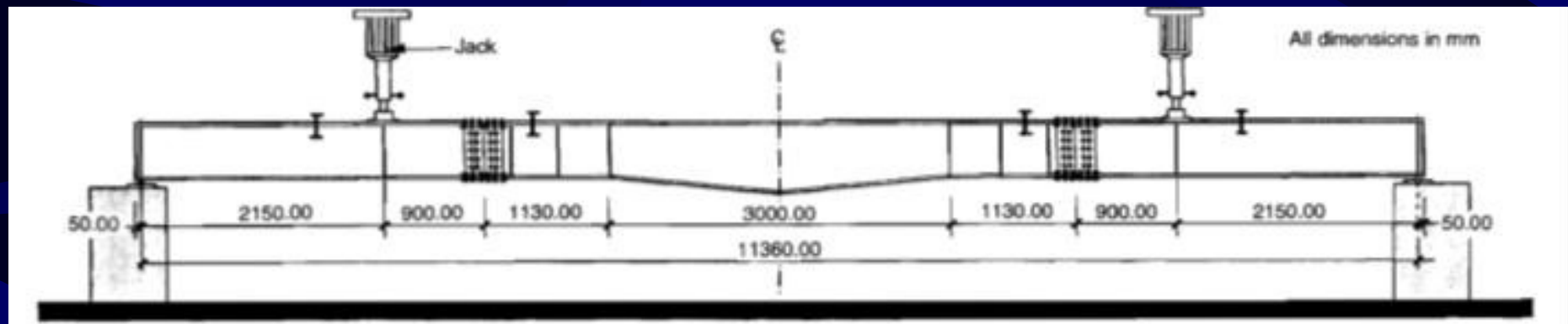
Modelagem Experimental

- Sistema contraventamento lateral → mesa superior → 4 pórticos → impedir → flambagem lateral
- Durante testes → notou → atuadores → fim de curso → flecha viga → motivou → uso → 2 placas aço espessas → posicionadas → mesa superior → ligadas → laje reação → barras rosqueadas → se não feito → especialmente ensaios → mistos → flambagem ou fadiga



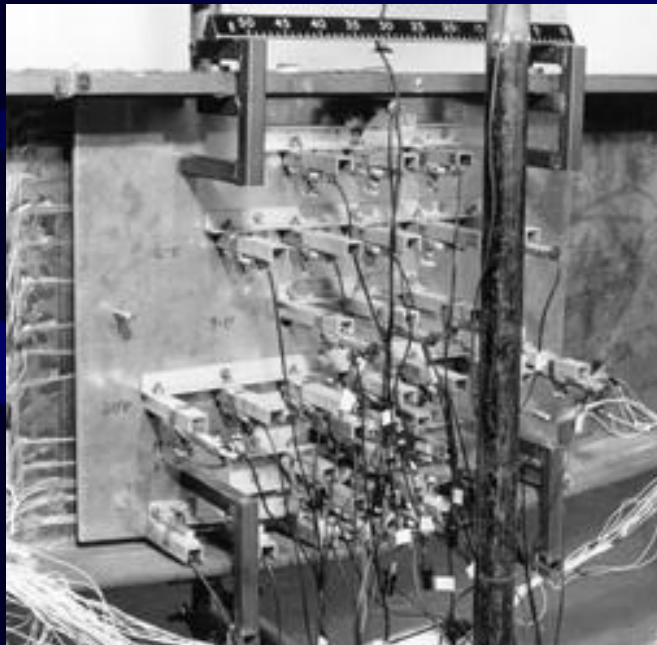
Modelagem Experimental

- Avaliação da distribuição de tensões e deslocamentos para fora do plano de almas de vigas com inércia variável

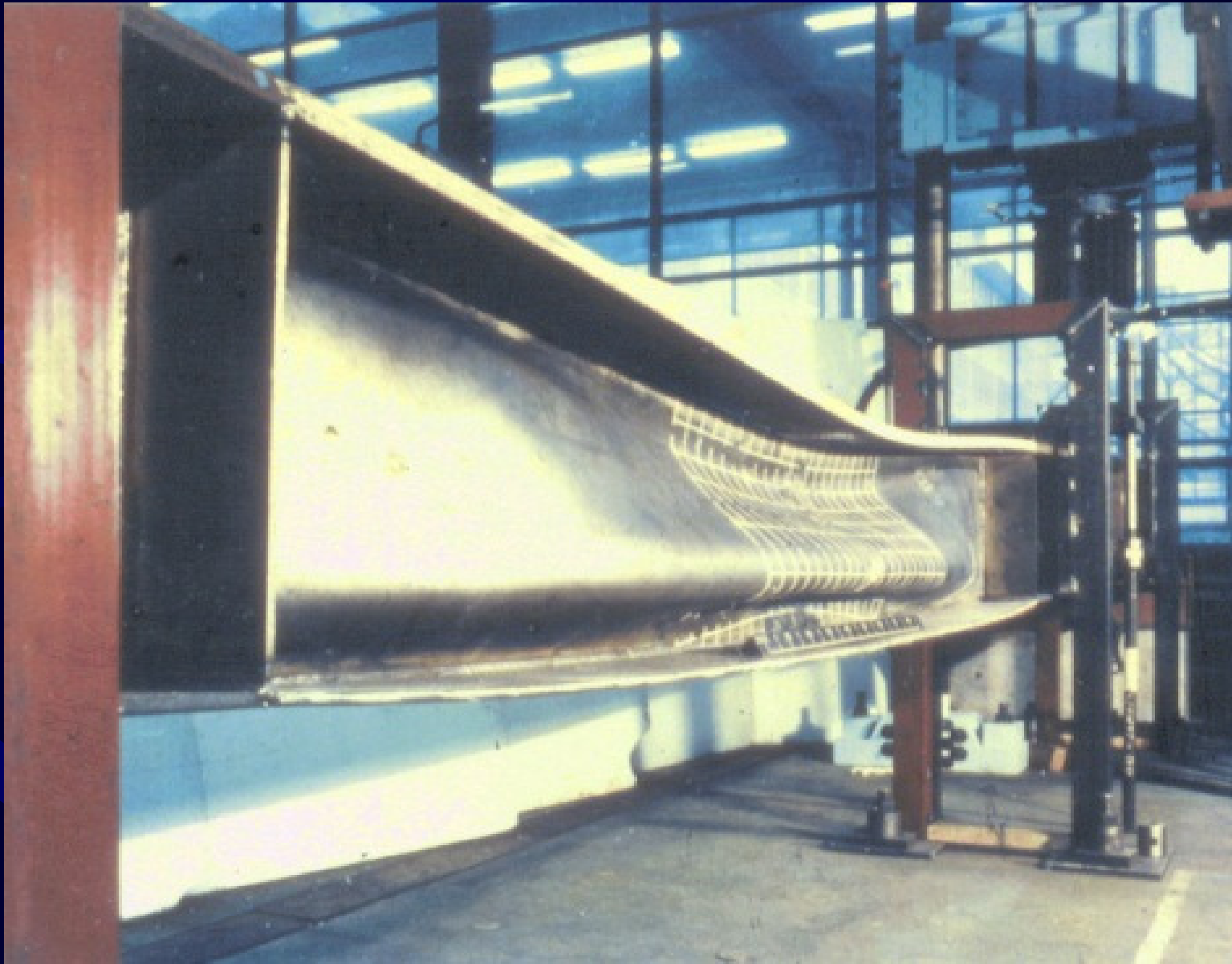


Modelagem Experimental

- Instrumentação → complexa → desenvolvimento → novos aparatos → deslocamentos laterais da alma → placa c/ 36 LVDTs → aferir possível flambagem local da alma
- Centro seção altura variável → deformações → rosetas → painel central viga de inércia variável



Modelagem Experimental



- Rock in Rio III



82m de vão e 36m de altura → estágio construtivo ↓ comprimento efetivo da coluna → $\frac{1}{2}$ comprimento original, aumentando sua capacidade de carga → restrição adicional → cabos



Modelagem Experimental

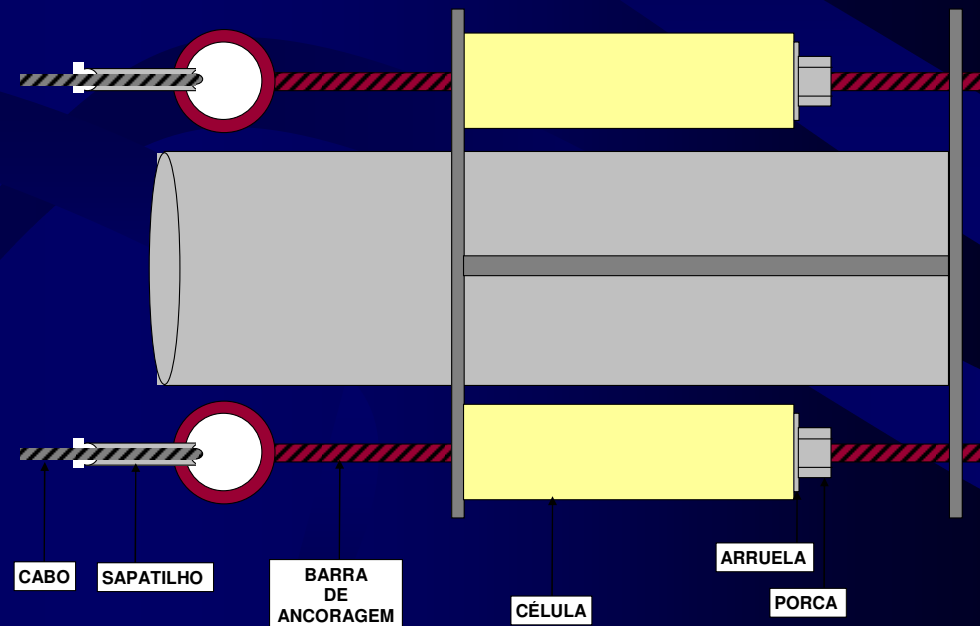
- Colunas de aço estaiadas e protendidas
- Contribuições inovadoras → sistema aquisição forças → cabos → célula carga → acoplada → placa de aço → obtendo → esforços → 4 estais simult → 1 célula → apoiada coluna → outra → atuador → carga na estrutura →

- Colaboração:
PUC-Rio,
Univ. de Coimbra,
Imperial College



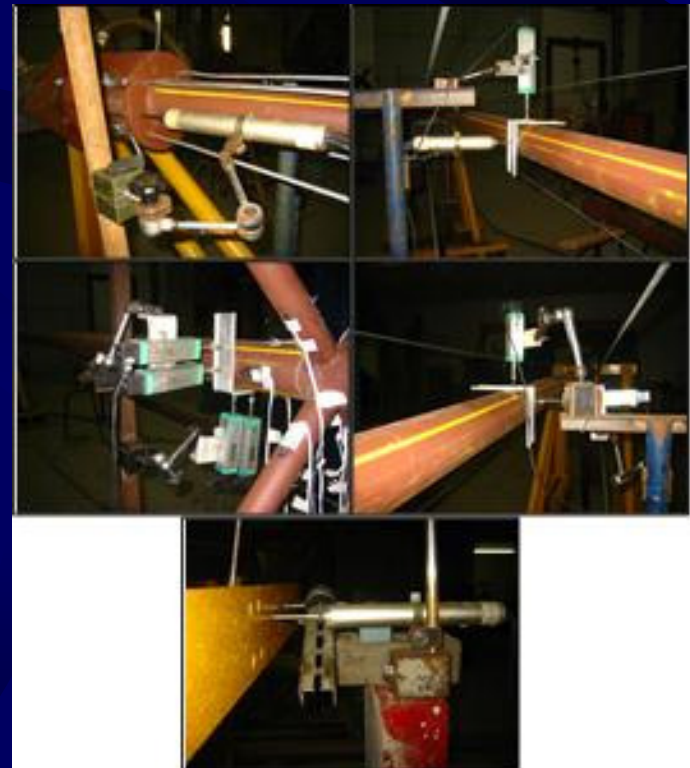
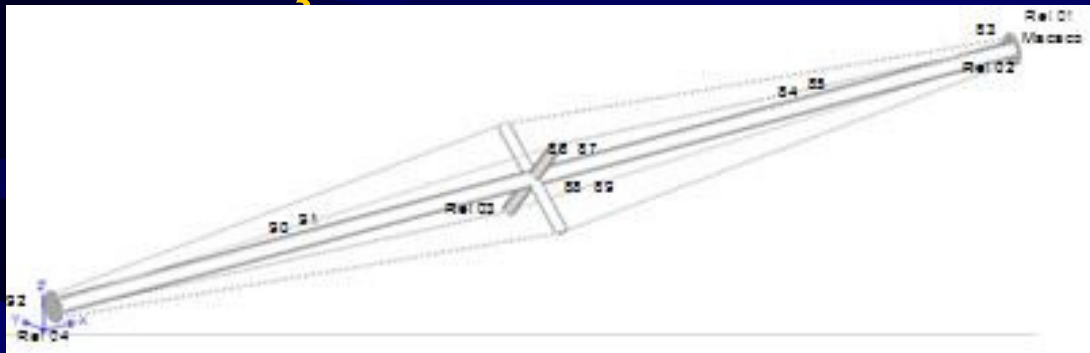
Modelagem Experimental

- Importância → esforços estais → individualmente
→ desbalanceamento → necessidade → projetar
→ célula → tubo aço → placa apoio → extremos
→ onde passam → estais → aplicam carga



Modelagem Experimental

- Colunas Estaiadas e Protendidas
- 10 LVDTs → coluna → problema → forma circular → resolvido → chapas → 2 LVDTs → cada face horizontal e vertical → chapa → sempre fornecem resultados → não afetados → rotação e translação

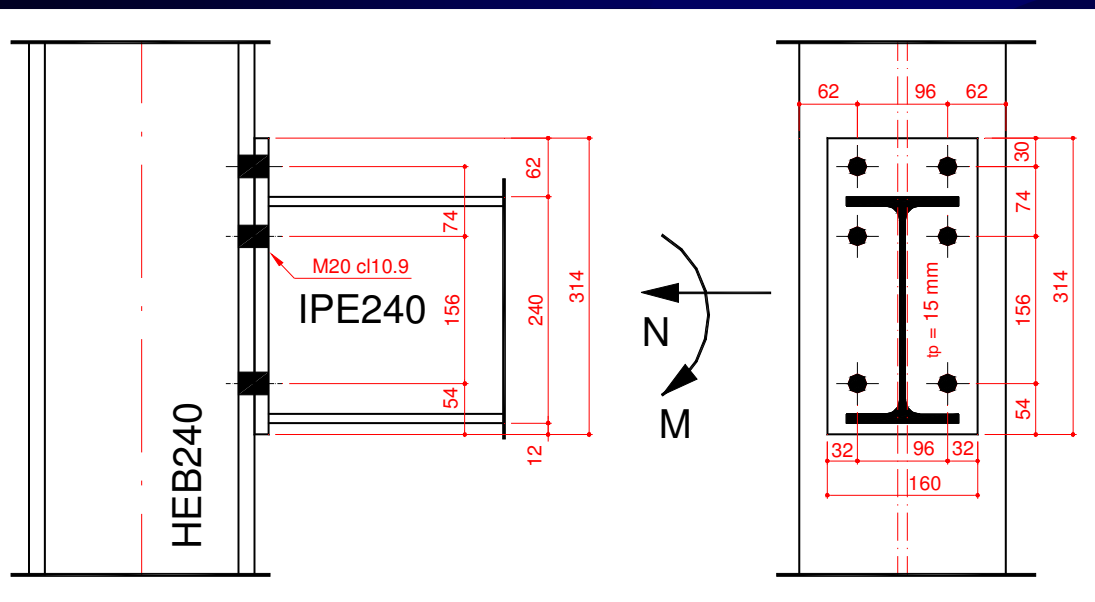


- 12 m coluna central → barras com 600 mm comprimento
- coluna & barras → tubos → 89.3 mm (3.2 mm) & 42.6 mm (3 mm)
- Cabos 6.35 mm diâmetro



Modelagem Experimental

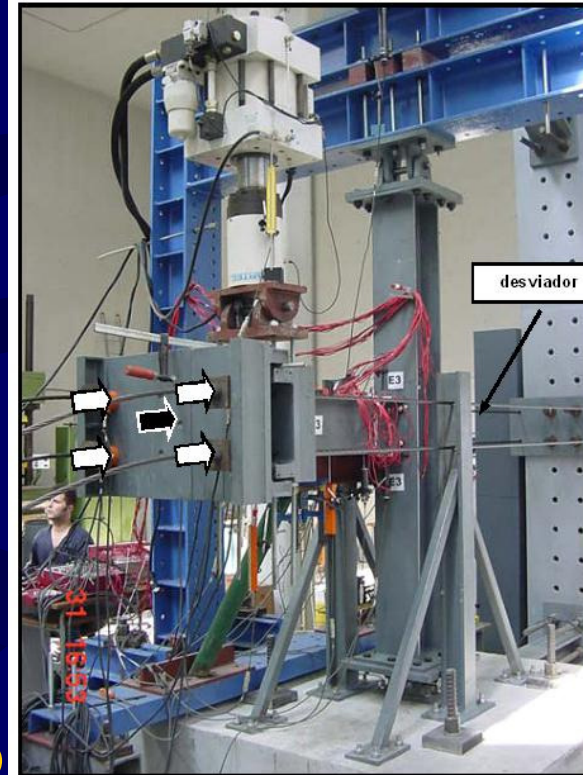
- Ligações semi-rígidas com placas de extremidade e interação flexão e esforço normal
- Ligações viga coluna → flexão + cargas axiais. → experimentos → Universidade de Coimbra → placa extremidade 9 ajustada + 7 estendida



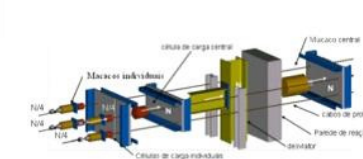
- Colaboração:
PUC-Rio,
Univ. de Coimbra

Modelagem Experimental

- Compressão → atuador
→ tração → 4 cabos →
ancorados → parede
reação → transferência
força → ligação →
célula carga central →
cabos passam →
desviador → garantir
→ força axial →
sempre paralela → eixo
viga → células →
instaladas → c/ cabo →
medir individualmente
→ força



(a)



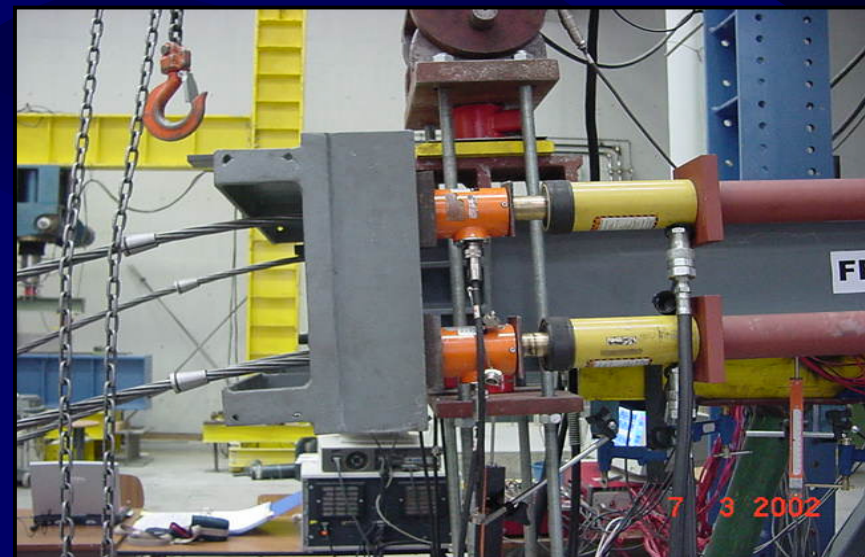
(b)



(c)

Modelagem Experimental

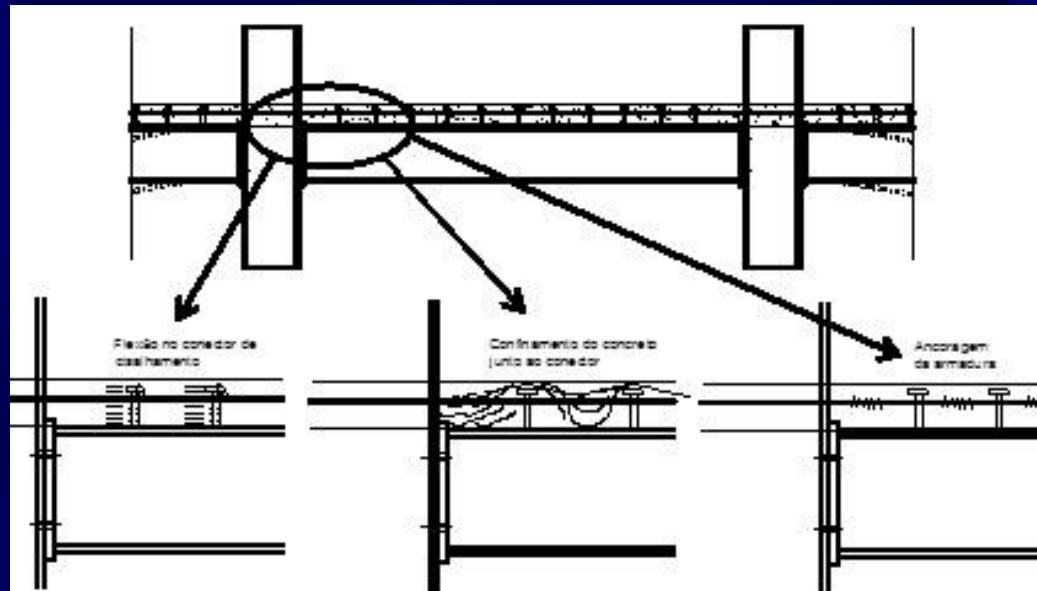
- Força tração → 4 atuadores → cada extremidade → perfil → transmitem → tração → perfis simplesmente apoiados → outra extremidade → permitir → livre rotação → e garantir → força axial aplicada → sempre paralela → eixo da viga



Modelagem Experimental

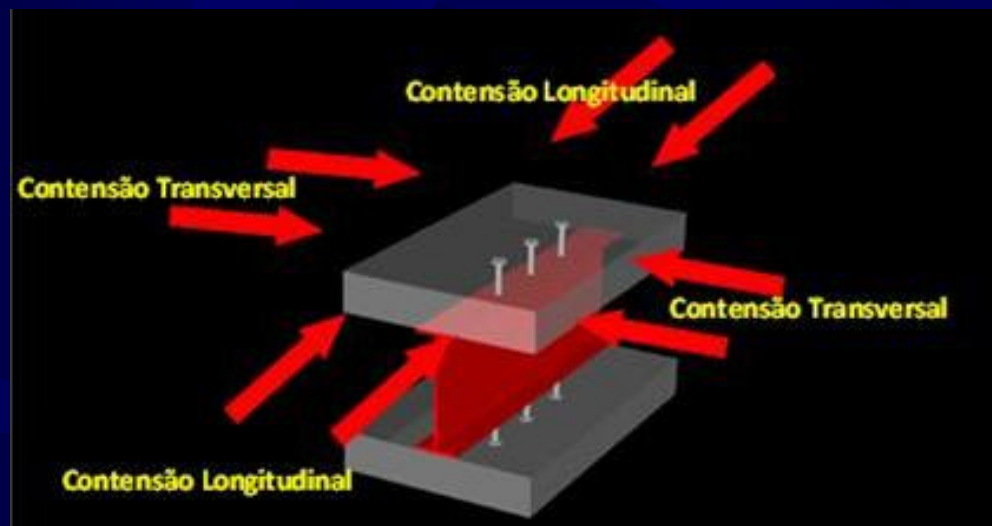
- Semi-rígidas mistas c/ placas de extremidade
- Região apoios → momentos negativos → vigas contínuas → intermináveis discussões → grande número variáveis → mecanismo transmissão esforços → trajetória → esforços → mesa viga → → solda → conector → concreto → armadura

- Colaboração:
PUC-Rio



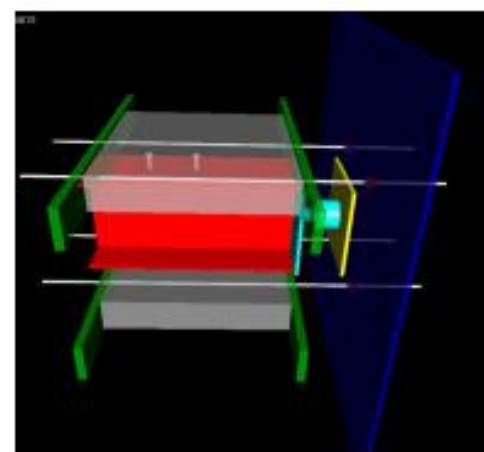
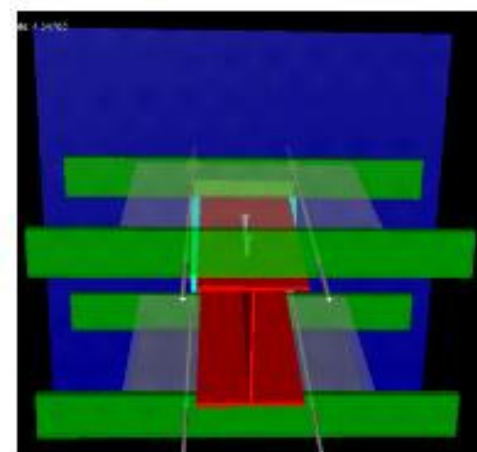
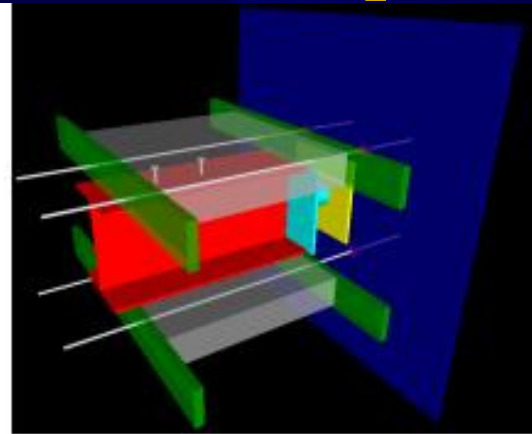
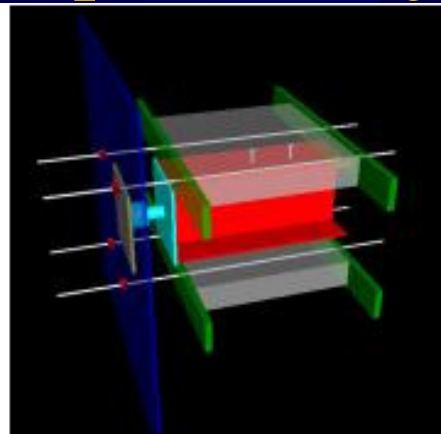
Modelagem Experimental

- Modelos de confinamento da laje → representar → continuidade da laje → modelo escala reduzida → contenções → propostos → 4 níveis confinamento
- Confinamento total → parcial → sem confinamento → avaliação comprimento ancoragem armadura → ensaio → simular → região momentos negativos → fissuras → concreto → push-out → pull-out → barras de armadura



Modelagem Experimental

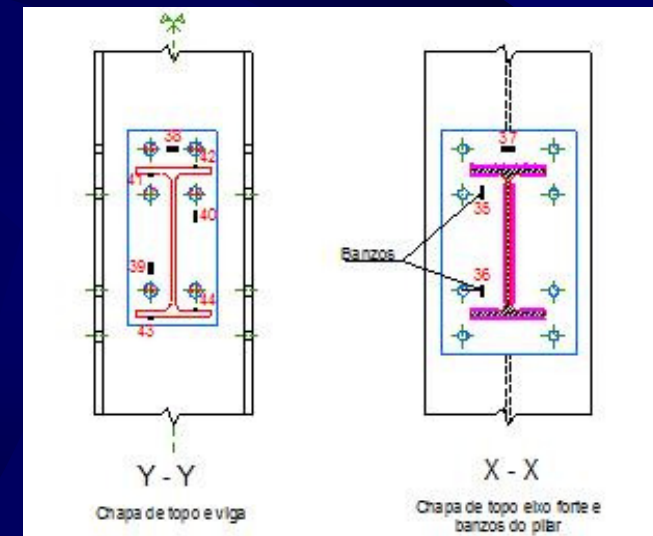
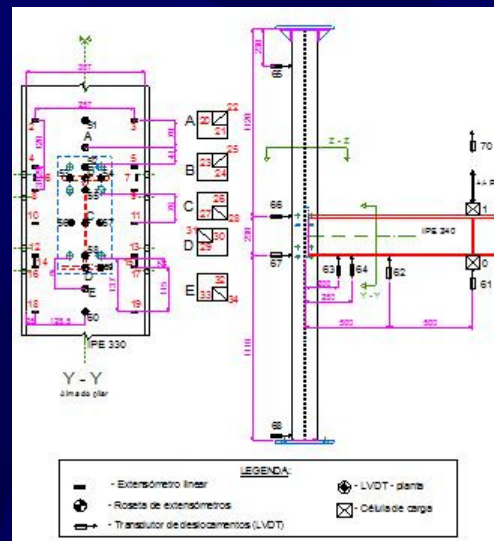
- Sem confinamento → + calibrar → resistência
ancoragem armadura → aplicação de carga →
atuador → perfil + laje → são empurrados



Modelagem Experimental

- Ligações Semi rígidas na Menor Inércia
- Tensões e deslocamentos para fora do plano de almas de ligações mistas na menor inércia
- Instrumentação da viga, placa de extremidade, parafusos, placa de extremidade na maior inércia e mesas da coluna e viga carregada

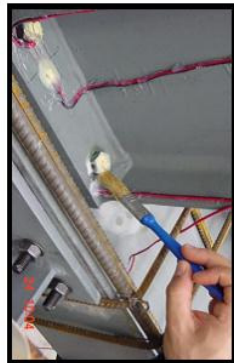
- Colaboração:
PUC-Rio,
Univ. de Coimbra,



Modelagem Experimental

- Ensaios mistos → instrumentação → presença do concreto impede → colocação LVDTs → alma coluna. → avaliação deslocamentos alma → barras lisas → saindo do concreto

- Colaboração:
PUC-Rio,
Univ. de Coimbra,



(a) Aplicação proteção



(b) Estrutura instrumentada



(c) Proteção das extensões



(d) Vista geral durante a montagem da forma.



(e) Reparação

Modelagem com Elementos Finitos

- Ideia → simples → eficiente → concepção → modelo consistente → desenvolvimento → modelo inicial simples → mas representativo
- Modelos iniciais → muito complexos → difícil avaliação calibragem → muitas variáveis e fatores → interação entre si → dificultando → identificação → quais passos → ser tomados → corrigir rumos → ou melhorar eficiência → modelo estrutural investigado

Modelagem com Elementos Finitos

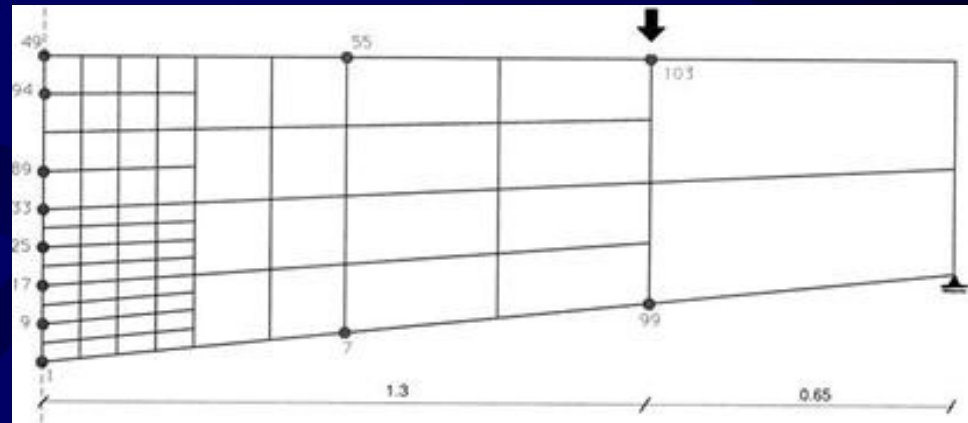
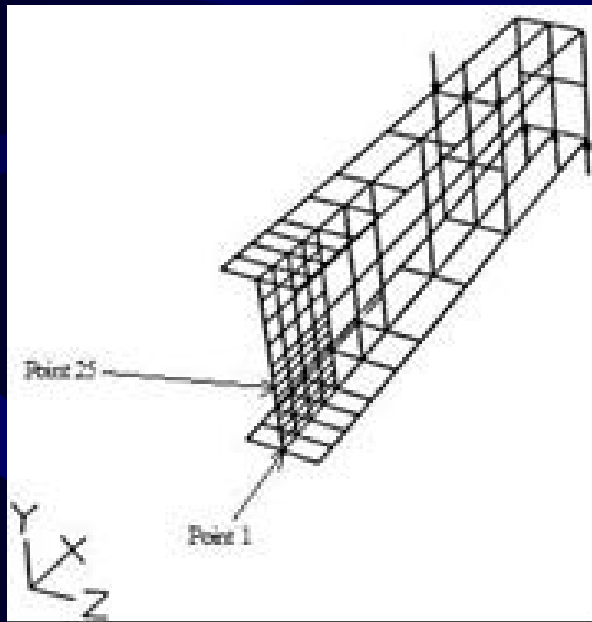
- Ponto fundamental → calibração → executar → simulações → consciência → sempre resultado → apoio indevida → simetria mal estabelecida → material mal definido → inutilizar resultados
- Confiabilidade → calibrações → experimentos → não disponíveis → formulações teóricas clássicas
- Muitos modelos → somente calibradas → numéricos → ciclo vicioso → não se saiba → limites, validade e precisão → modelos numéricos

Modelagem com Elementos Finitos

- Flamb. local alma vigas mistas c/inércia variável
- Análise paramétrica → elasto-plásticas não-lineares → elementos → gama prática → variáveis significativas → problema estudado → área da mesa tracionada → posição da linha neutra plástica
- → Simulações → geração → gama abrangente → valores práticos → diversas variáveis → análise paramétrica → Newton-Raphson completo e modificado → usados → convergência → controles carga, → deslocamento → comp. arco

Modelagem com Elementos Finitos

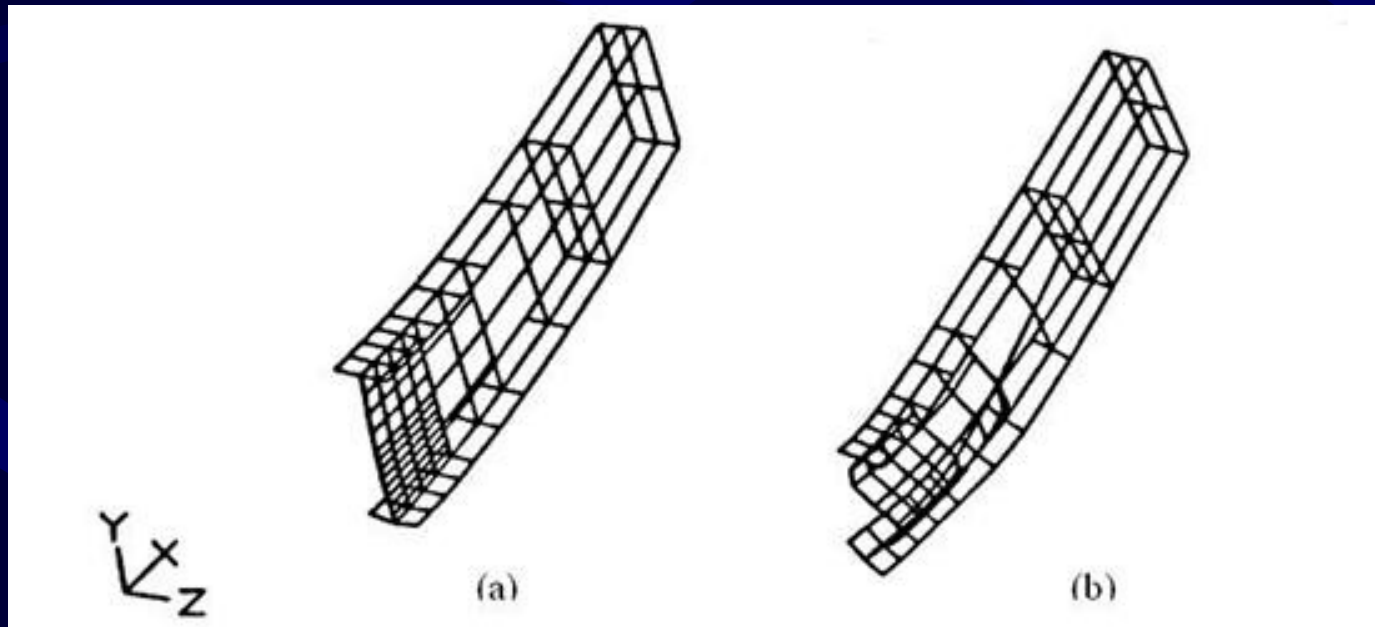
- Elemento adotado → casca → dupla curvatura → oito nós e seis graus de liberdade → Lagrangeano → Von Mises → dois níveis → espessura da casca → simetria → metade comprimento



- Colaboração:
Imperial College

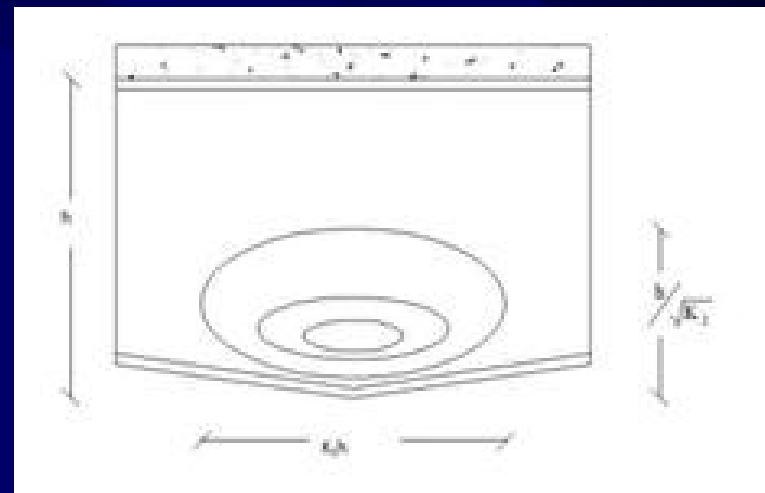
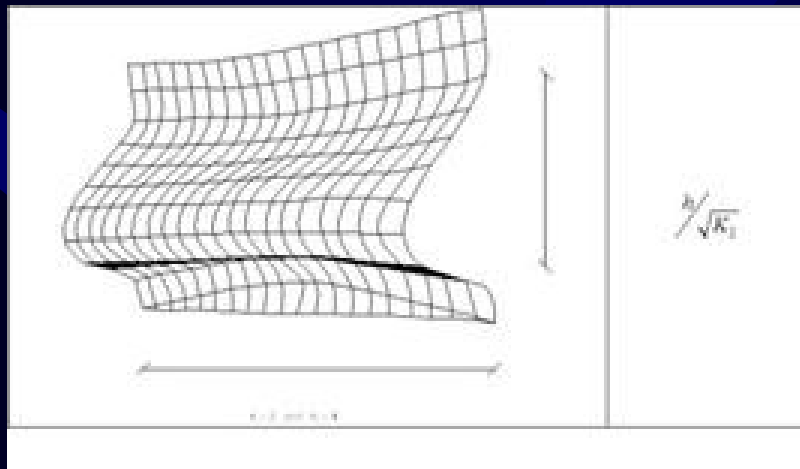
Modelagem com Elementos Finitos

- Viga $\rightarrow$ mesas paralelas $\rightarrow$ 5 mm $\rightarrow$ alma $\rightarrow$ colapso $\rightarrow$ formação $\rightarrow$ rótula plástica $\rightarrow$ próximo $\rightarrow$ enrijecedor $\rightarrow$ viga $\rightarrow$ ângulo $1,15^\circ$ $\rightarrow$ ruína $\rightarrow$ flambagem vertical alma $\rightarrow$ regime plástico $\rightarrow$ carga máxima $\rightarrow$ muito pouca deformação alma $\rightarrow$ já no $\rightarrow$ descar. $\rightarrow$ alma $\rightarrow$ bastante deformada

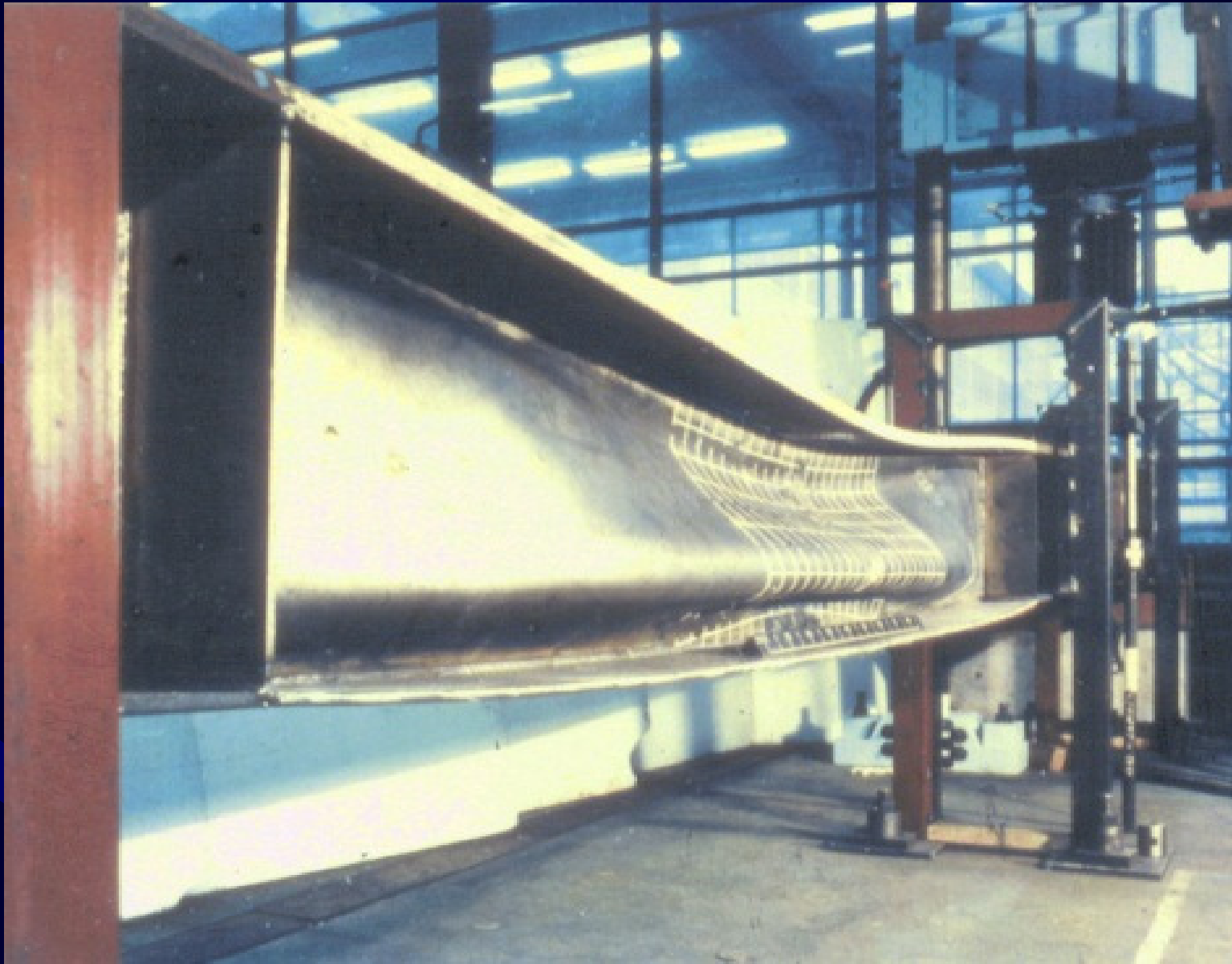


Modelagem com Elementos Finitos

- Modelo numérico → representar → forma satisfatória → experimentos →, prevendo → carga última → tipo de colapso → distribuição de tensões na alma → resultados → desenvolvimento → modelo de dimensionamento simples → baseado → teoria elástica placas → devidamente comparado → numéricos e experimentais.

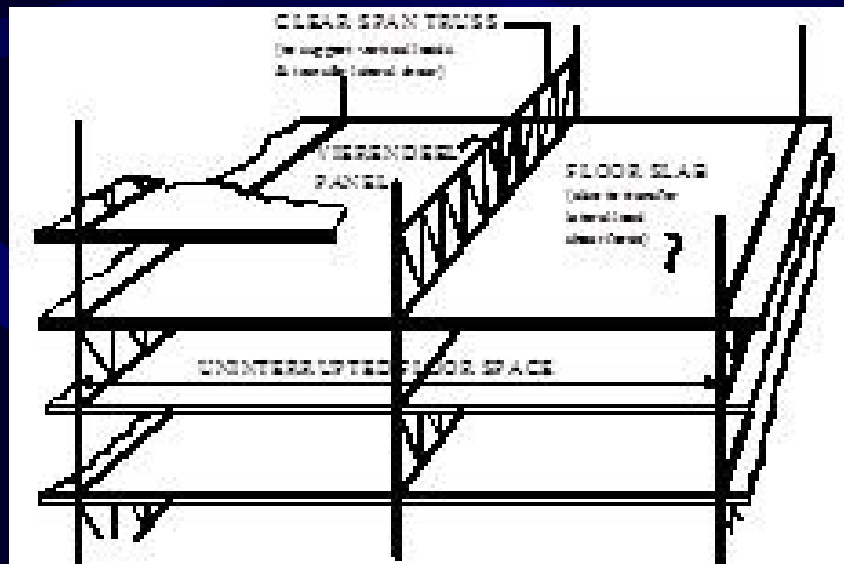


Modelagem Experimental



Modelagem com Elementos Finitos

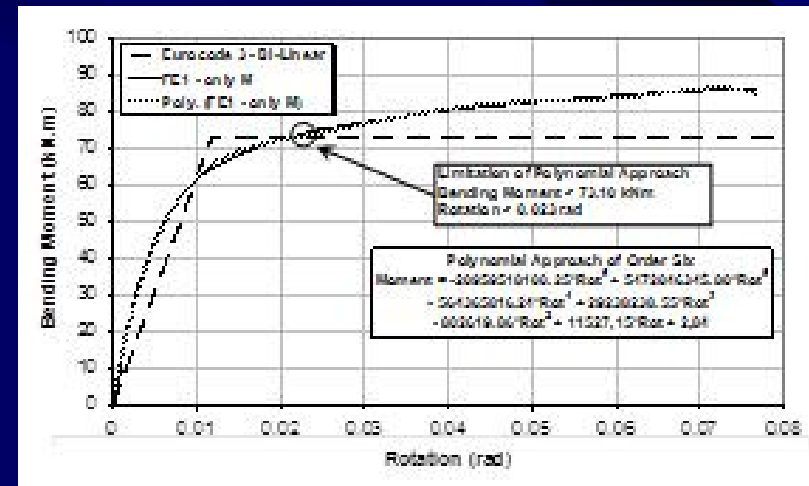
- Interação flexão esforço axial em ligações semi-rígidas com placas de extremidade
- Simulações → vigas tipo vierendeel → vantagem → pórticos planos → associam → comportamento flexo-compressão → eliminando → diagonais.



- Colaboração:
PUC-Rio,
Imperial College

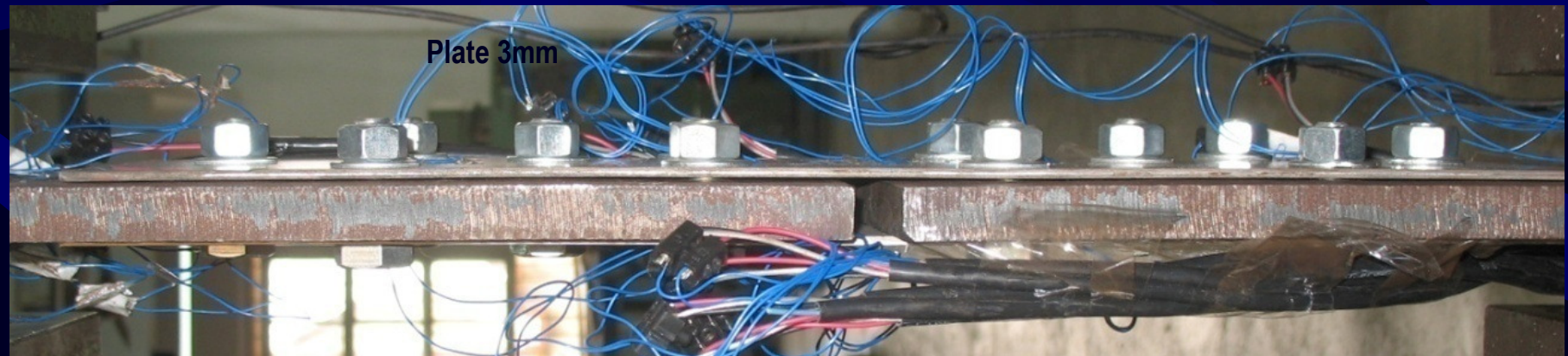
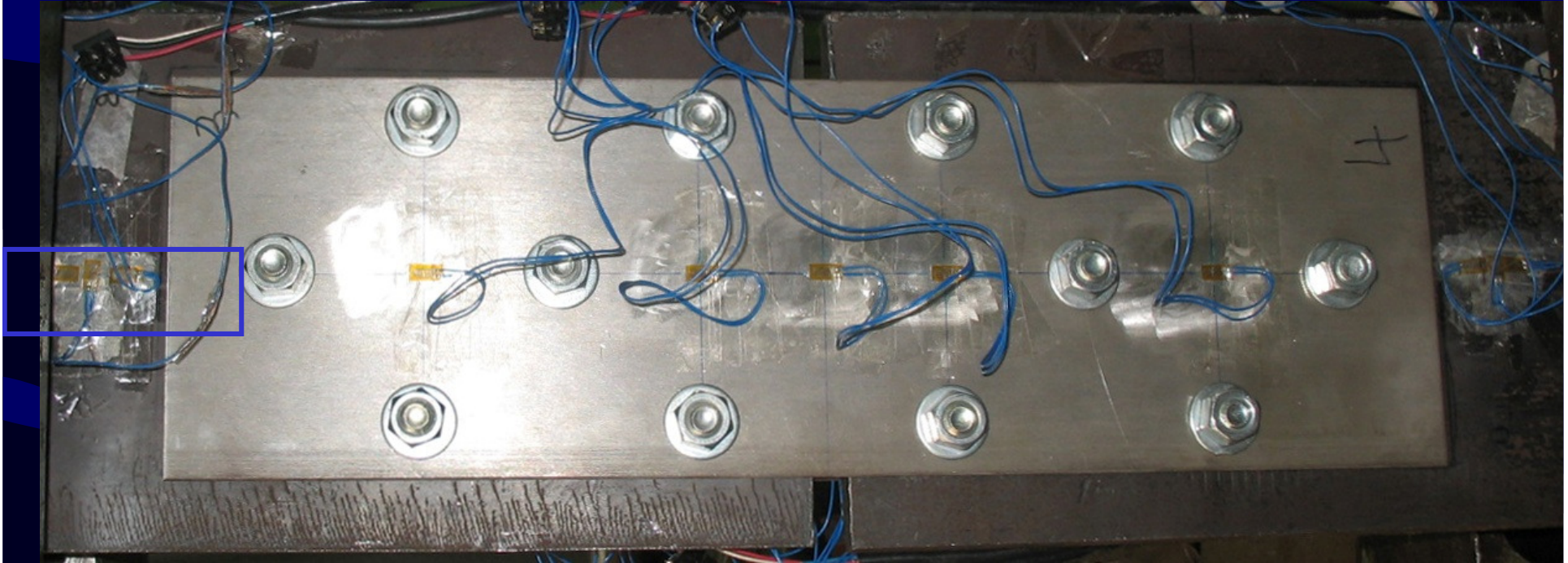
Modelagem com Elementos Finitos

- Modelo → elemento ligação → semi-rígidez → desenvolvimento → novo elemento interação → forças axiais e momento fletor →
- Interação → fator correção → momento x rotação → multiplicando seu valor → valores originais → momento → desloca → curva → cima/baixo → função → nível força axial



Modelagem com Elementos Finitos

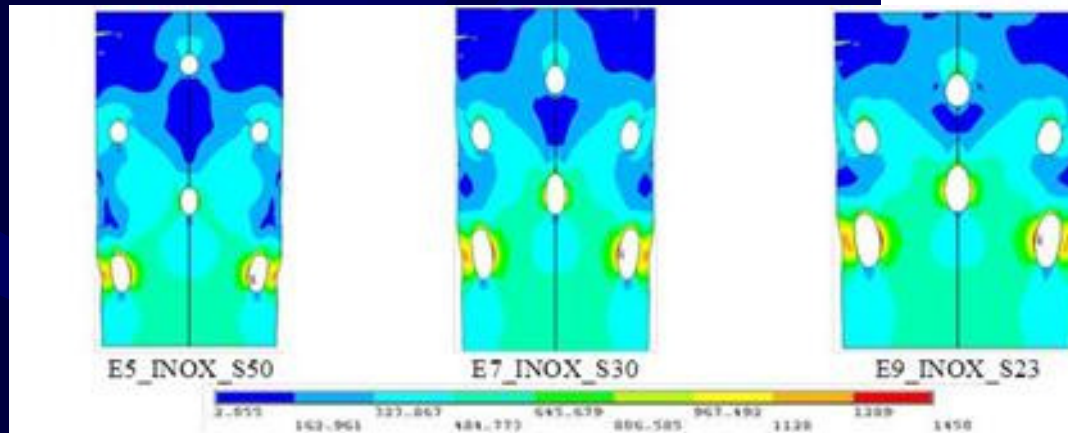
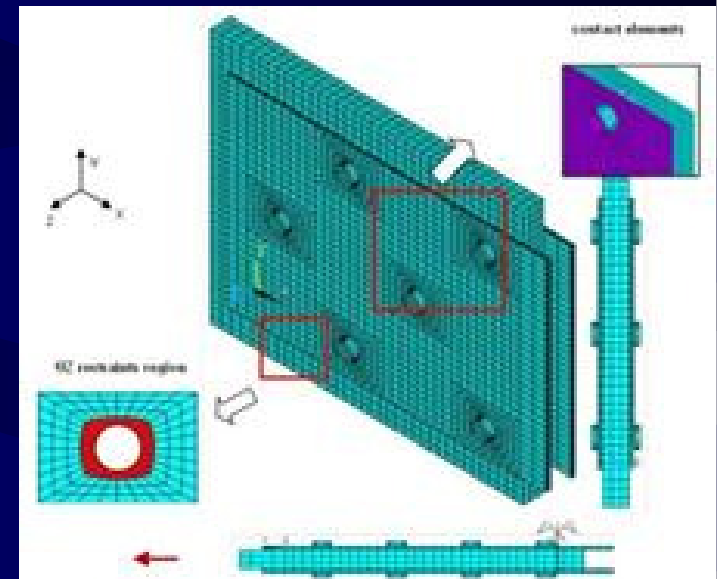
- Comportamento à tração de placas de aço inoxidável com parafusos defasados
- Modelo → elementos de contato → placas e entre os furos e o corpo dos parafusos → carga → aplicada → meio de deslocamentos axiais → placa carga → cabeça parafuso e porcas → simuladas → restrições deslocamentos → área adjacente → furo
- Experimentos inovadores → resistência tração → placas aço carbono/inox → parafusos defasados → tensão & def. verdadeiras → → modelagem

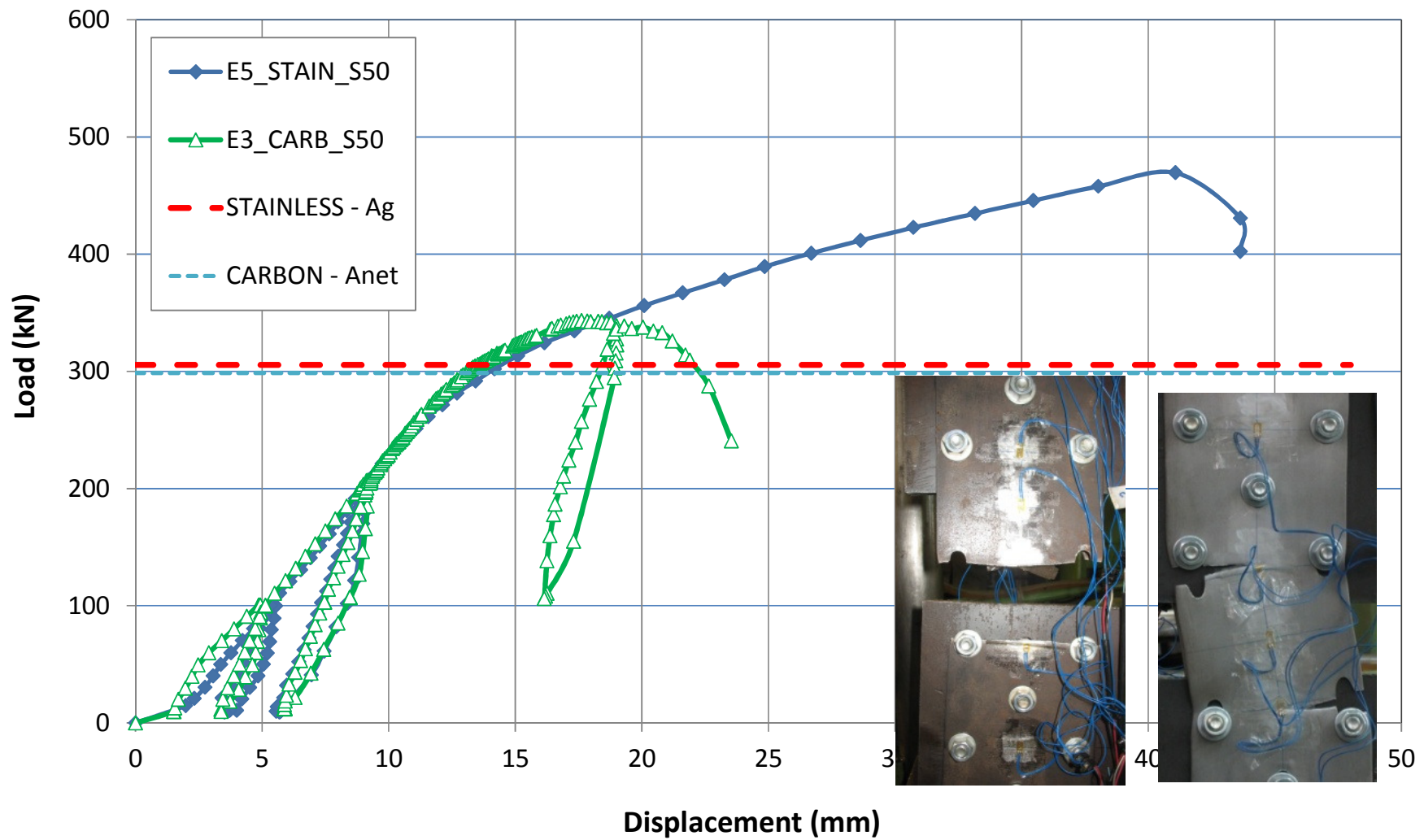


Modelagem com Elementos Finitos

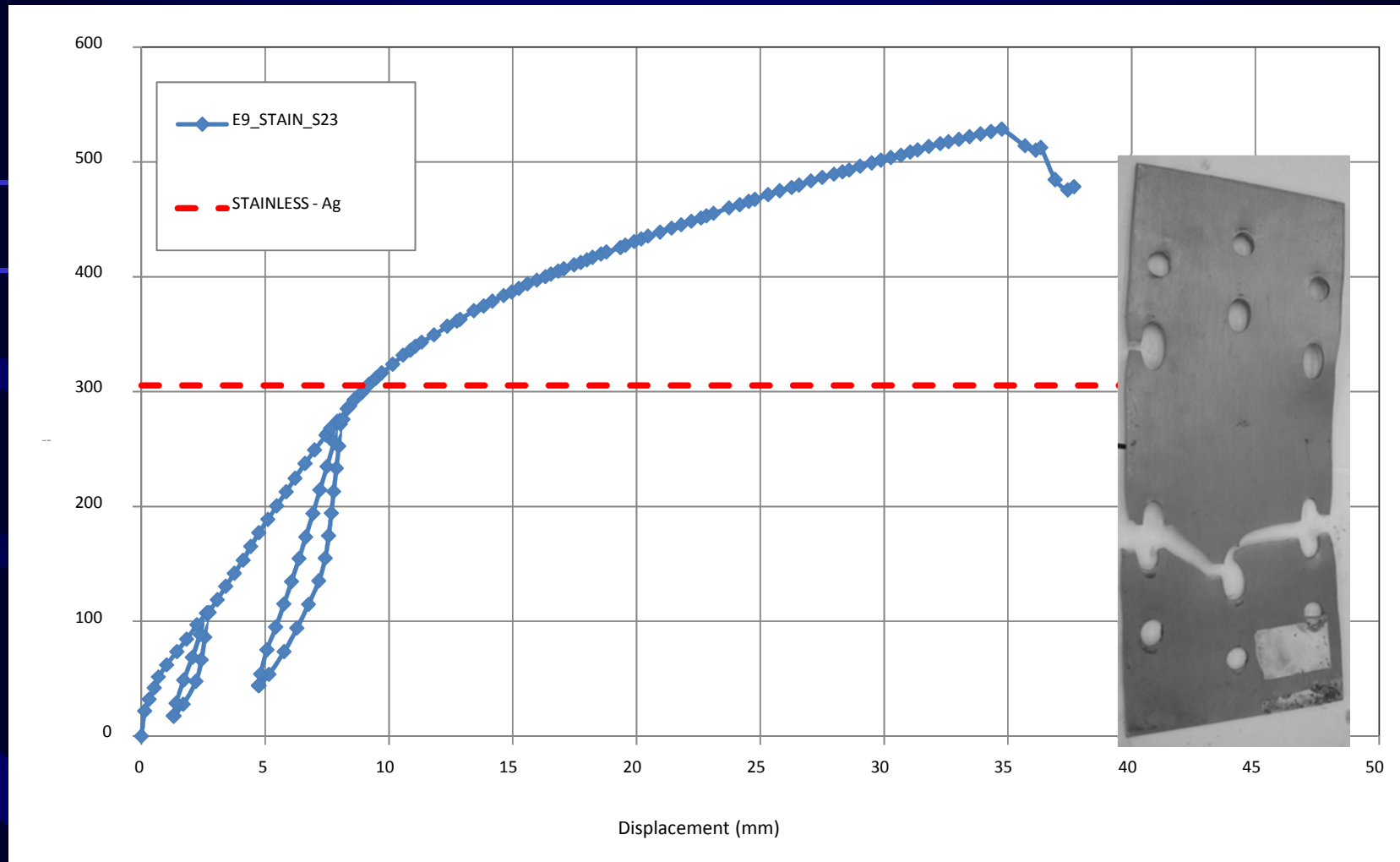
Malha típica → modelo → 1/2 → simetria → lim. últimos

- Tensão & deformação verdadeiras → austeníticos → grandes deformações → 60%
- Cond. Contorno → implementadas → cuidado → não gerar tensões adicionais → modelos → alterando → comportamento real





Load *versus* displacement - E3_CARBON_S50 & E5_STAIN_S50



Load *versus* displacement - E9_STAIN_S23

Inteligência Computacional

- Conjunto de técnicas inspiradas na Natureza para o desenvolvimento de sistemas inteligentes, que imitam características do comportamento humano. Ex.:
 - Aprendizado;
 - Raciocínio;
 - Evolução;
 - Adaptação.

Inteligência Computacional

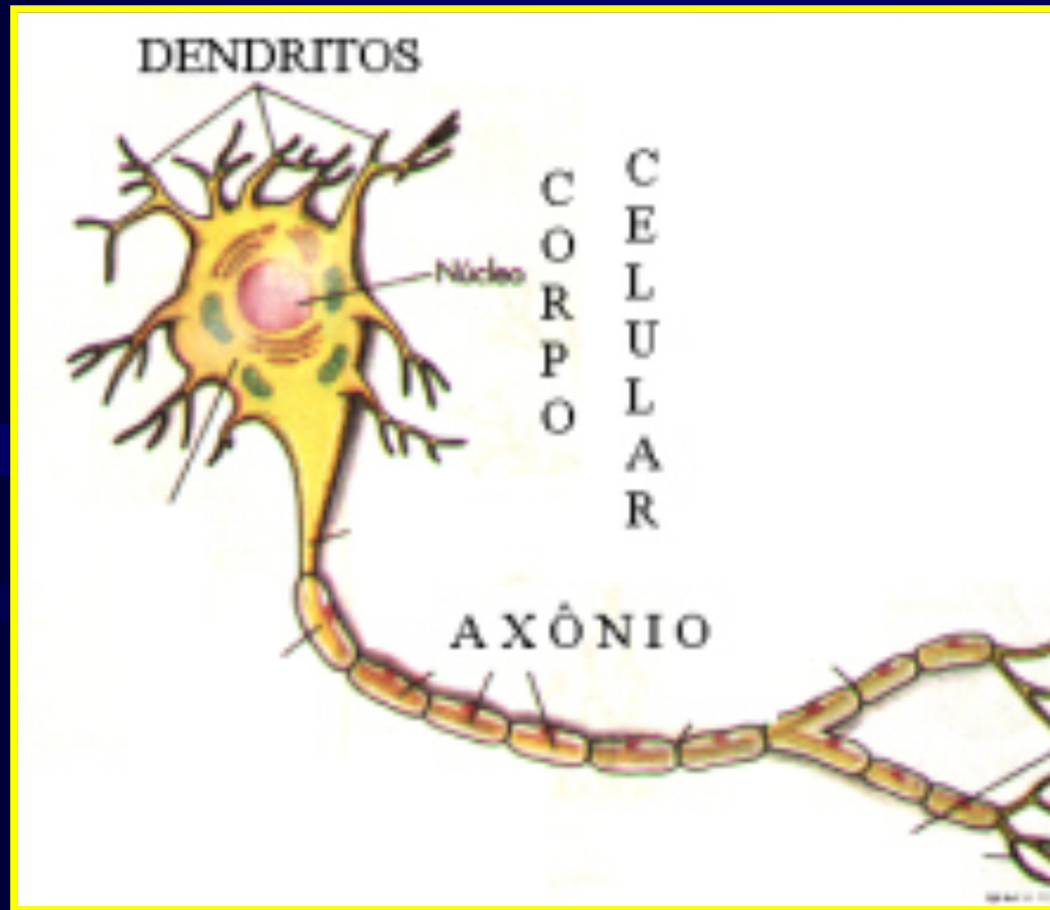
- Estas técnicas abrangem:
 - Redes Neurais
 - Algoritmos Genéticos
 - Lógica Nebulosa
 - Sistemas Inteligentes Híbridos :
 - Neuro-Nebulosos
 - Neuro- Genéticos
 - Modelos Nebuloso-Genéticos

Redes Neurais

Inspiradas na estrutura do cérebro para apresentar características humanas, tais como:

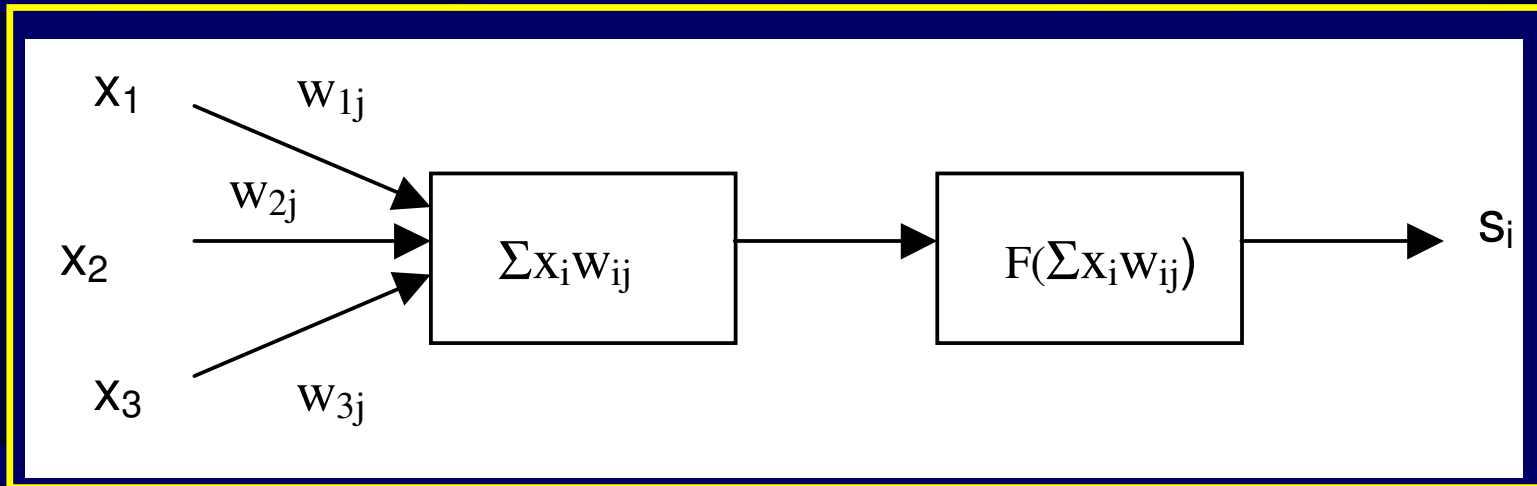
- Aprendizado por experiência;
- Generalização de novos exemplos;
- Abstração;
- Associação entre padrões diferentes.

Neurônio Biológico



Recebe, processa e transmite os impulsos nervosos.

Neurônio Artificial

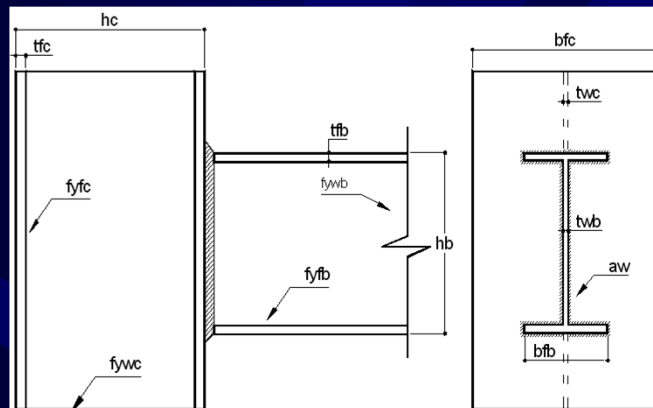
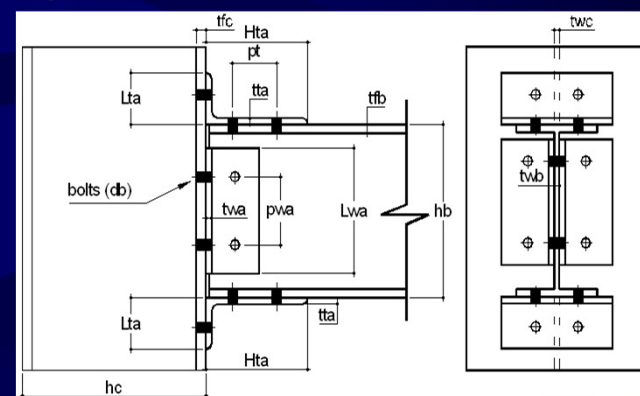
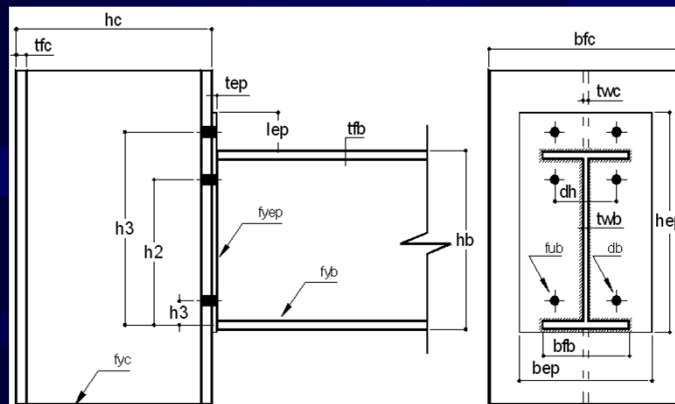


Recebe, processa e transmite as informações.

As redes neurais tem uma estrutura organizada em camadas de elementos processadores conectadas entre si. A organização depende do algoritmo.

Redes Neurais Back Propagation

- Avaliação de ligações viga coluna

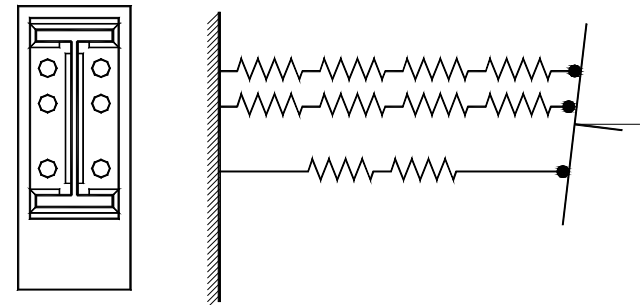


Ligações com placa de extremidade estendida, soldadas e com cantoneiras aparafusadas usadas no treinamento da rede neural

- Colaboração:
PUC-Rio,

Redes Neurais Back Propagation

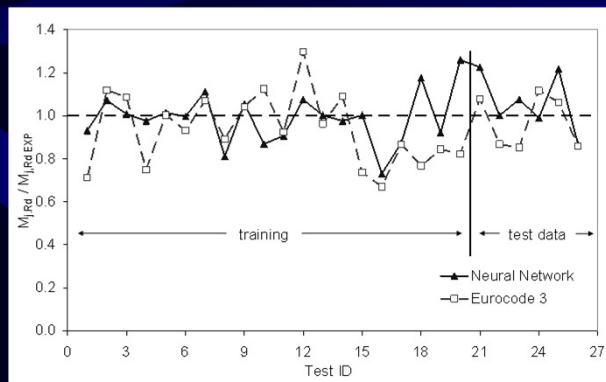
- Comportamento de ligações viga coluna → método componentes → Eurocode 3 → componentes ligação → modelo mecânico simples → previsão → curvas momento x rotação de ligações
- Modelo mecânico → barras rígidas & molas → representam cada componente relevante ligação → simplificado → substituindo cada série de molas → molas equivalentes elasto-plásticas



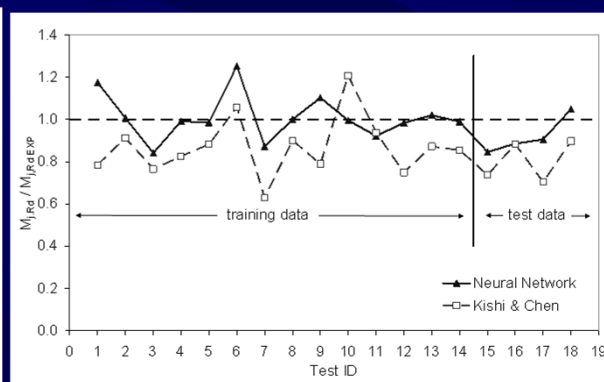
Exemplos de Aplicação

Redes Neurais Back Propagation

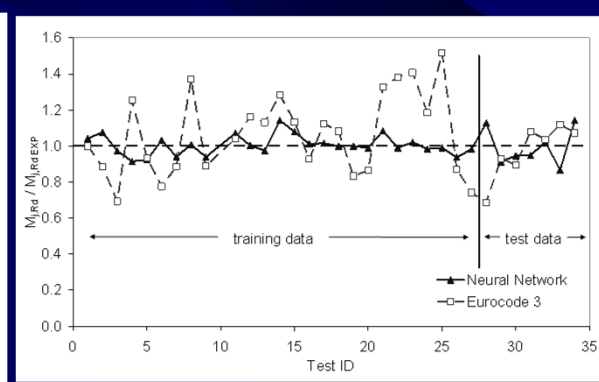
- NN & EC3 → soldadas resist flexão → redes neurais → acordo experim → EC3 → média, min & max erros redes neurais → 8.9%, -5.4% & 12.4%
- Aparafusada c/ cant. → flexão → média, min & max redes neurais → 11.6%, -18.3% & 4.7% erros



Placa Ext flexão



Soldadas flexão



Cantoneiras aparafusadas flexão

Algoritmos Genéticos

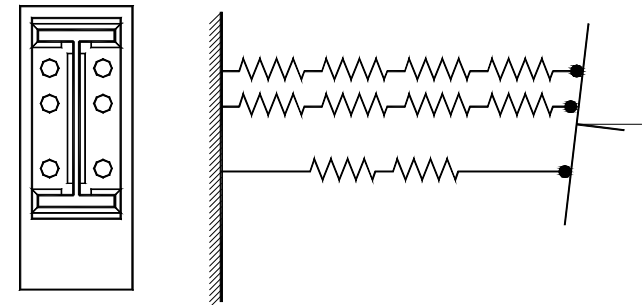
- Algoritmos de busca inspirados no princípio Darwiniano de evolução;
- Combinam sobrevivência do mais apto e cruzamento aleatório de informação;
- Adaptativo - informação corrente influencia a busca futura;
- Paralelo - várias soluções consideradas a cada momento;
- Problemas Complexos - de difícil formulação matemática ou com grande espaço de busca (grande número de soluções).

Algoritmos Genéticos

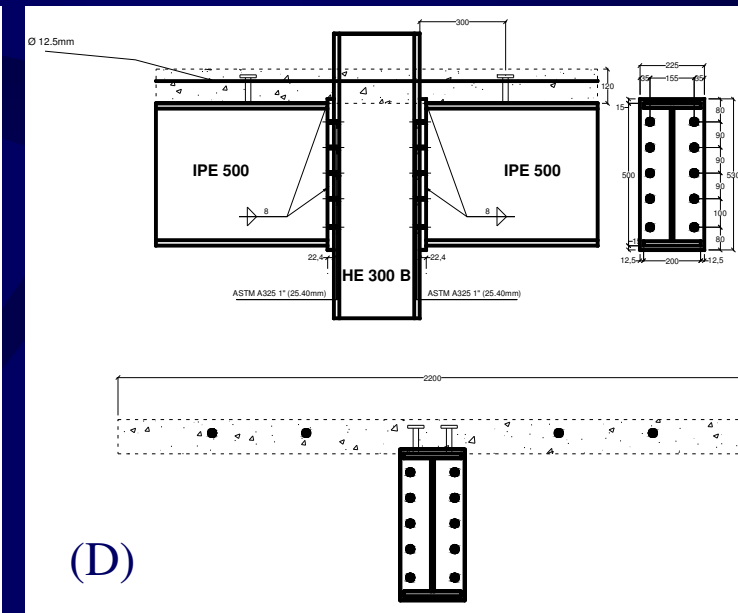
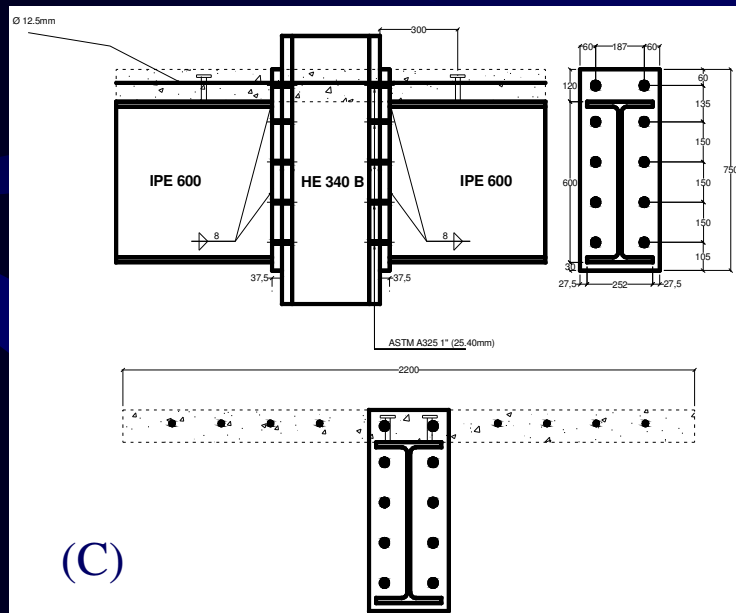
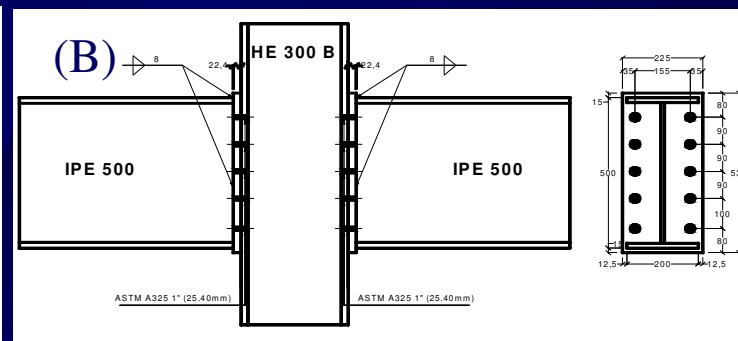
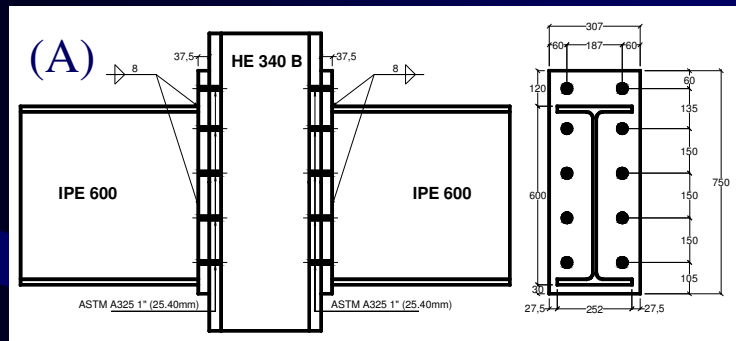
- Dimensionamento de ligações com placa de extremidade ajustada mistas e estendida em aço
- Algoritmos genéticos → otimização ligações → minimizando esforço dimensionamento → requeridas resistência flexão & rigidez inicial → custo mínimo
- Processo iterativo → repetido → valores ótimos → minimizando → custo ligação para uma requerida resistência flexão → Evolver → resultados confiáveis → economia & eficiência → esforço computacional reduzido

Algoritmos Genéticos

- Propriedades geometria & material → resposta global ligação → modelo mecânico ligação → resistência componentes + curva momento x rotação
- Variáveis Otimizadas → geometria → distâncias, espessuras → manipuladas AG
- Redução custo ligações semi-rígidas em aço e mistas → seleção adequada variáveis +significativas → soluções → custo otimizado + capacidades flexão e rigidez requerida



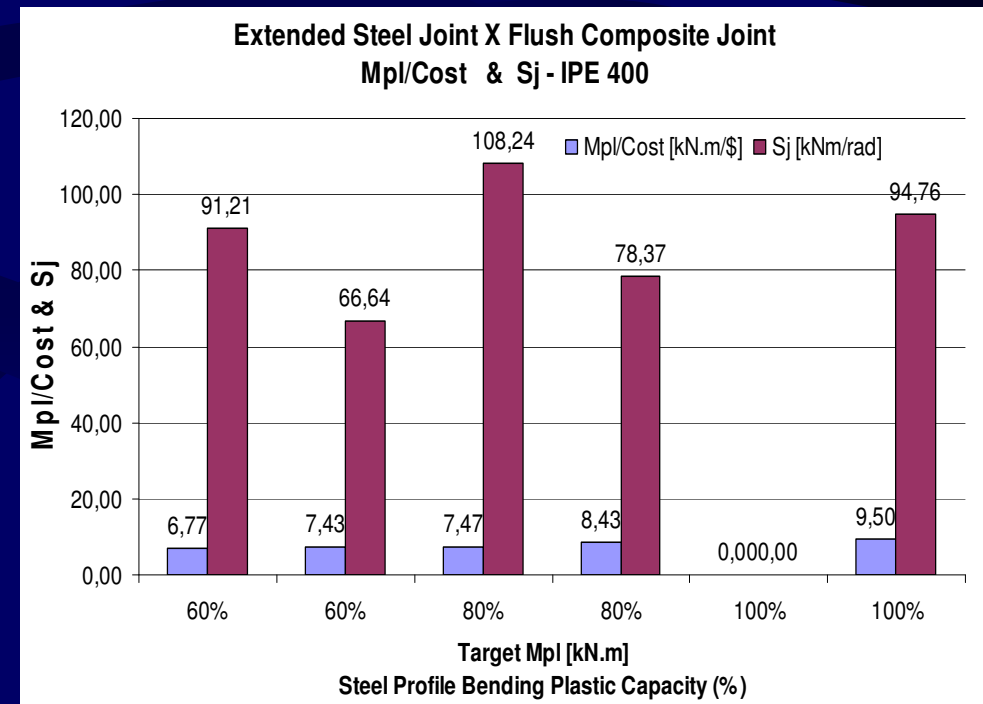
Algoritmos Genéticos



modelos:
(a) placa de
extremidade
estendida em
aço,
(b) placa de
extremidade
ajustada em
aço,
(c) placa de
extremidade
estendida
mista
(d) placa de
extremidade
ajustada mista

Algoritmos Genéticos

- Placa ext. ajustada mista & estendida em aço → momentos → 60%, 80% & 100% da resistência plástica perfis IPE → minimizar custos globais
- Comparação → ligação mista → maior resistência & menores custos → comparada equiv. em aço
- Desemp. melhorado → mistas → seções + pesadas → usadas



Considerações Finais

- Objetivo → métodos e técnicas → modelagem → estruturas aço e mistas
- Inicialmente → experimentos → principais etapas → visando → entendimento → concepção → desenvolvimento de procedimentos → instrumentação → interpretação dos resultados

Considerações Finais

- Entendimento → modelos numéricos → MEF → aspectos + relevantes → concepção → desenvolvimento, → superação → convergência → interpretação → resultados
- Correto uso → Inteligência Computacional → simulação → comportamento estrutural → focadas → passos + significat. → entendimento → escopo

Considerações Finais

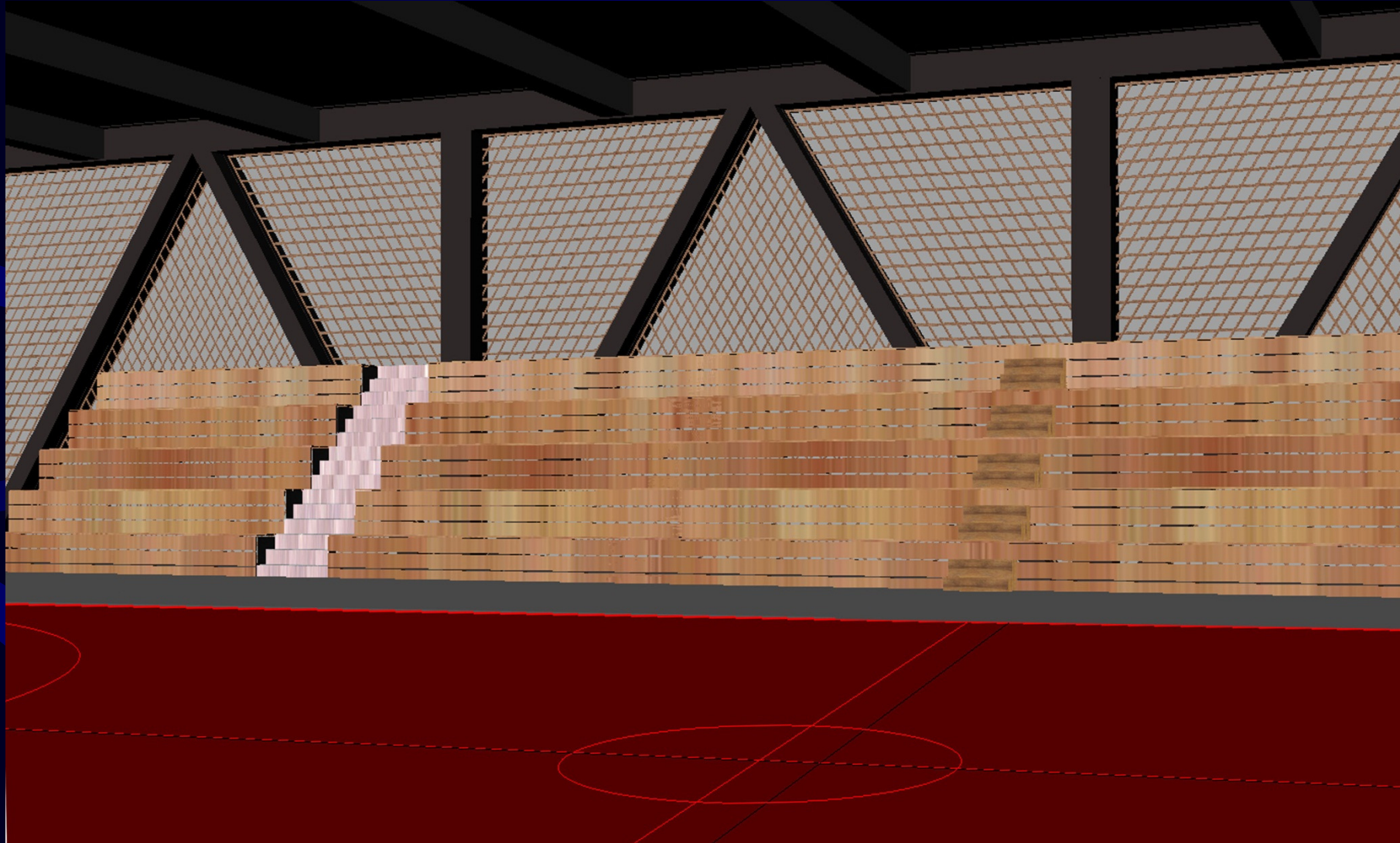


Considerações Finais

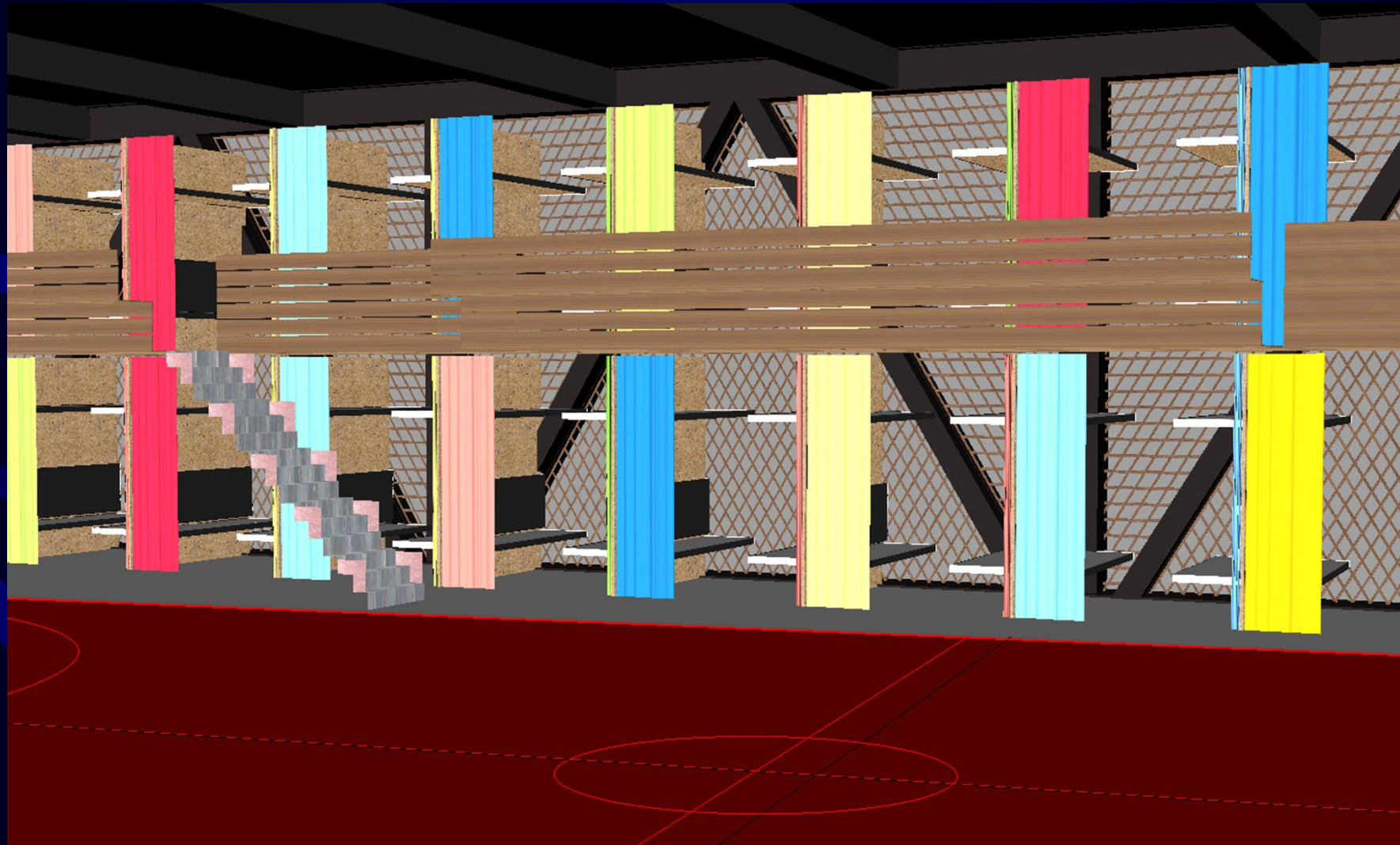


- Colaboração: EPFL

Considerações Finais



Considerações Finais



MODELAGEM DE ESTRUTURAS DE AÇO E MISTAS

Pedro Colmar Gonçalves da Silva Vellasco

Prof. Titular de Estruturas de Aço e Mistas

Departamento de Estruturas e Fundações

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro