






# Deformações Plásticas em Chapas Metálicas na Indústria Automotiva: Estudo de Estampagem e Conformação Mecânica

**Alana Camile Marins**  
[alana.marins@aluno.ifsp.edu.br](mailto:alana.marins@aluno.ifsp.edu.br)

**Mariana Trevisan Fragoso**  
[mariana.trevisan@aluno.ifsp.edu.br](mailto:mariana.trevisan@aluno.ifsp.edu.br)








# Introdução

-  A indústria automotiva busca reduzir peso, aumentar eficiência e manter segurança estrutural.
-  A deformação plástica permite moldar chapas metálicas em geometrias complexas.
-  Falhas como trincas, enrugamento e springback comprometem qualidade e desempenho.
-  O estudo combina análise teórica, ensaios experimentais e simulações numéricas.
-  Materiais como AHSS e alumínio são destaque por suas características mecânicas.








# Fundamentos da Deformação Plástica

-  A deformação plástica ocorre quando a tensão excede o limite de escoamento do metal.
-  Encruamento aumenta a resistência devido ao acúmulo de discordâncias.
-  Anisotropia influencia a distribuição da deformação na chapa.
-  Ductilidade uniforme/localizada determina risco de fratura.
-  Modelos como Hollomon descrevem o comportamento tensão–deformação.








# Modelos Constitutivos

-  Hollomon:  $\sigma = K \cdot \varepsilon^n$  — representa o encruamento clássico.
-  Swift:  $\sigma = K(\varepsilon_0 + \varepsilon)^n$  — inclui pré-deformação.
-  Voce — modela saturação do encruamento.
-  Ludwik — combina tensão inicial com encruamento.
-  Hill 48 e Barlat 2000 — fundamentais para simulações de chapas automotivas anisotrópicas.










# Materiais na Indústria Automotiva

-  DC01: boa conformabilidade e baixo risco de falha.
-  DP600 (AHSS): alta resistência, menor ductilidade.
-  Alumínio 6061-T6: leve, porém com alto springback.
-  AHSS reduzem peso estrutural, mas exigem maior controle do processo.
-  Alumínio é amplamente usado em carrocerias e capôs para reduzir massa.








# Metodologia do Estudo

-  Materiais analisados: DC01, DP600 e alumínio 6061-T6.
-  Ensaaios de tração obtiveram YS, UTS, alongamento, K e n.
-  Ensaaios de estampagem: repuxo profundo e dobramento em V.
-  Simulações numéricas pelo método dos elementos finitos.
-  Validação realizada comparando simulação e ensaios reais.

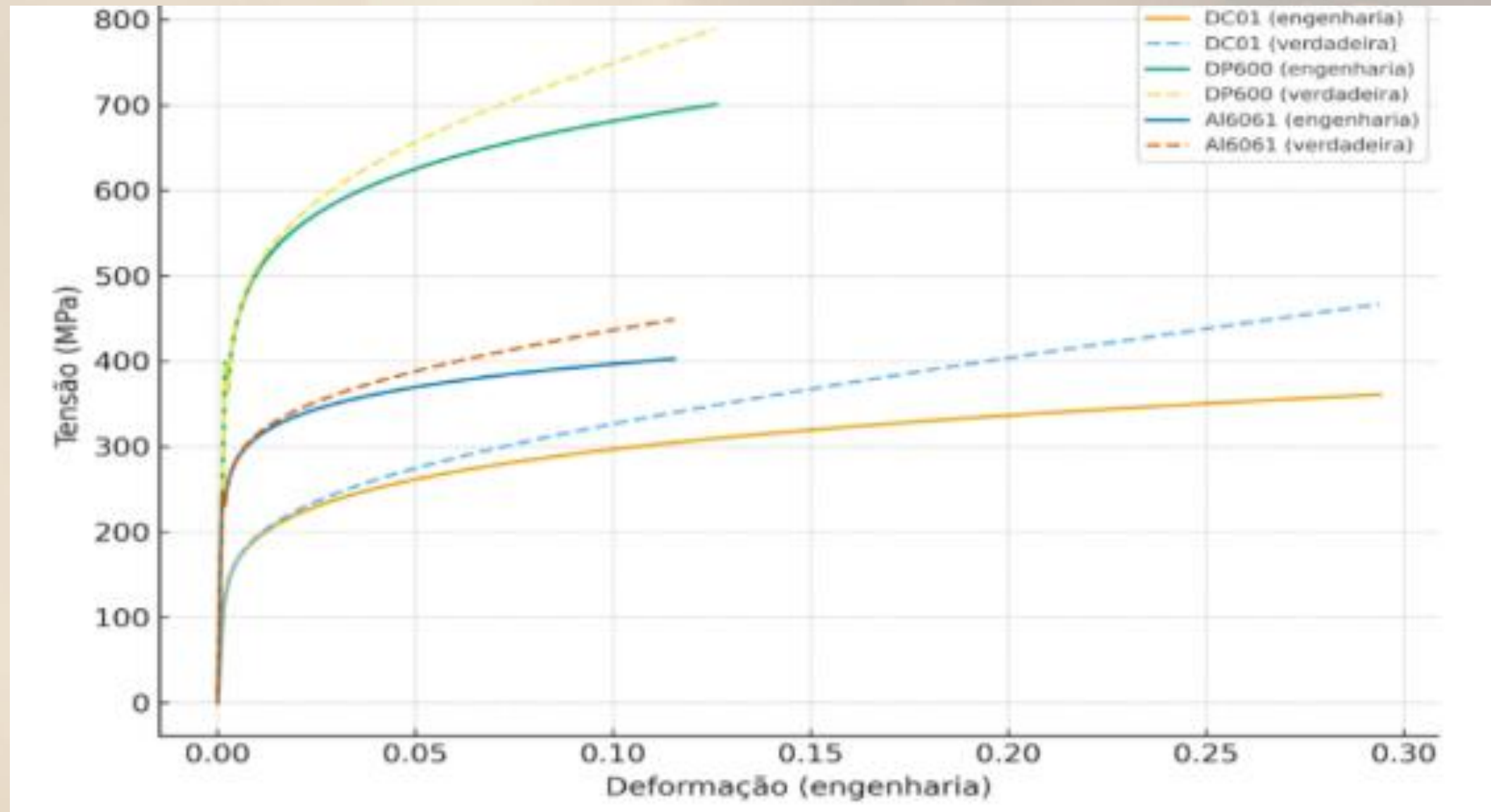


# Diagramas Tensão–Deformação

-  Curvas mostram comportamento elástico, plástico e fratura.
-  DC01 apresenta maior alongamento e boa conformabilidade.
-  DP600 apresenta maior tensão de escoamento e menor ductilidade.
-  Alumínio possui menor alongamento e maior recuperação elástica.
-  Diagramas fundamentais para prever desempenho na estampagem.








# Diagramas Tensão-Deformação












# Resultados Mecânicos

-  DC01: maior profundidade de estampagem e menor springback.
-  DP600: maior resistência, porém com trincas leves nas bordas.
-  Alumínio 6061-T6: ocorreu enrugamento e alto springback.
-  Diferenças em YS, UTS e alongamento influenciam formabilidade.
-  Parâmetros K e n determinam o nível de encruamento.



# Índices de Formabilidade

-  FLD identifica regiões seguras e críticas de deformação.
-  Índice Erichsen mede profundidade máxima antes da fratura.
-  Coeficiente  $r$  analisa anisotropia e tendência à formação de orelhas.
-  Utilizados para prever falhas e calibrar simulações.
-  Reforçam a confiabilidade dos procedimentos experimentais.



# Índices de Formabilidade

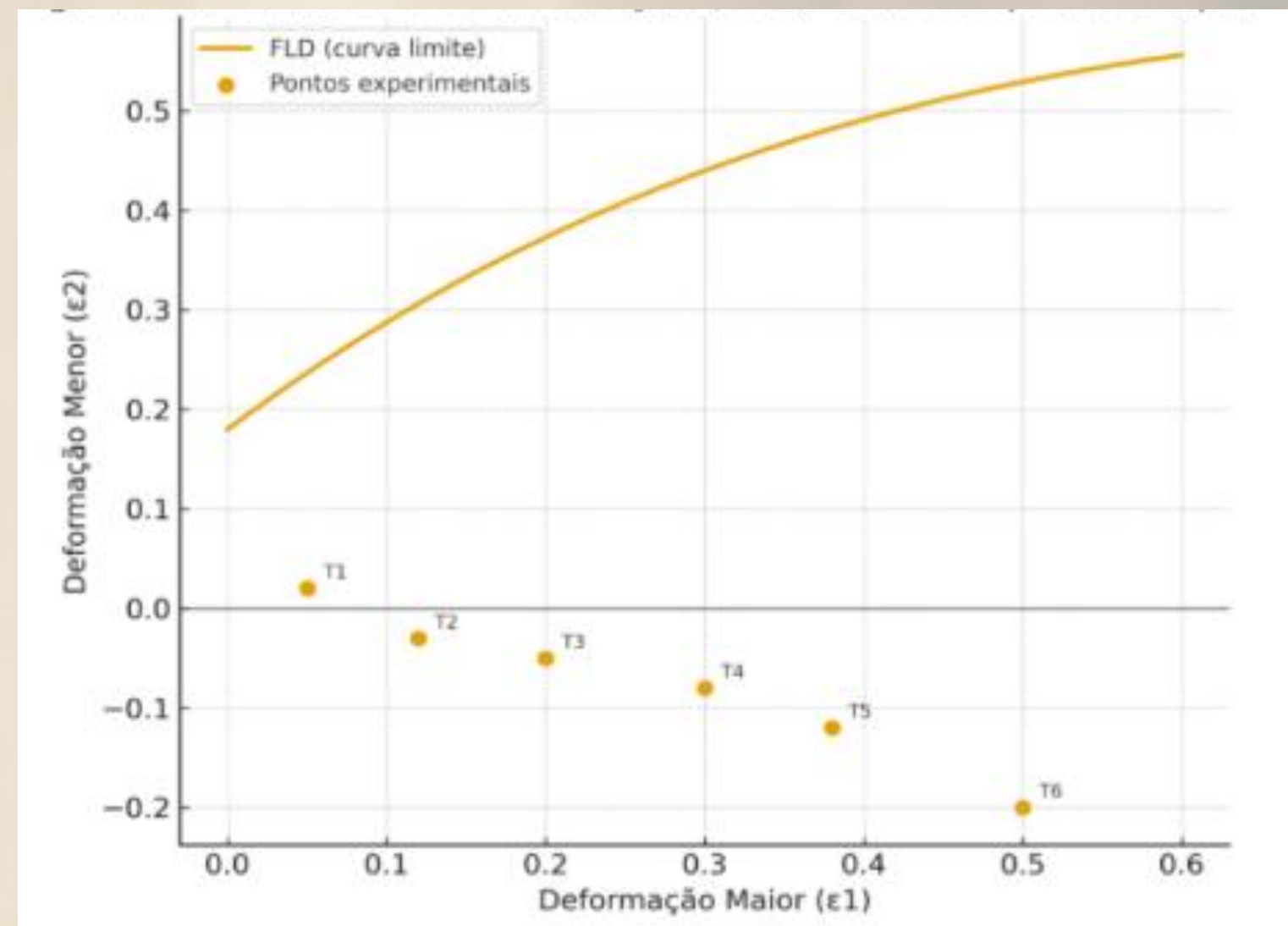







Diagrama de Limite de Conformação (FLD) com pontos experimentais.

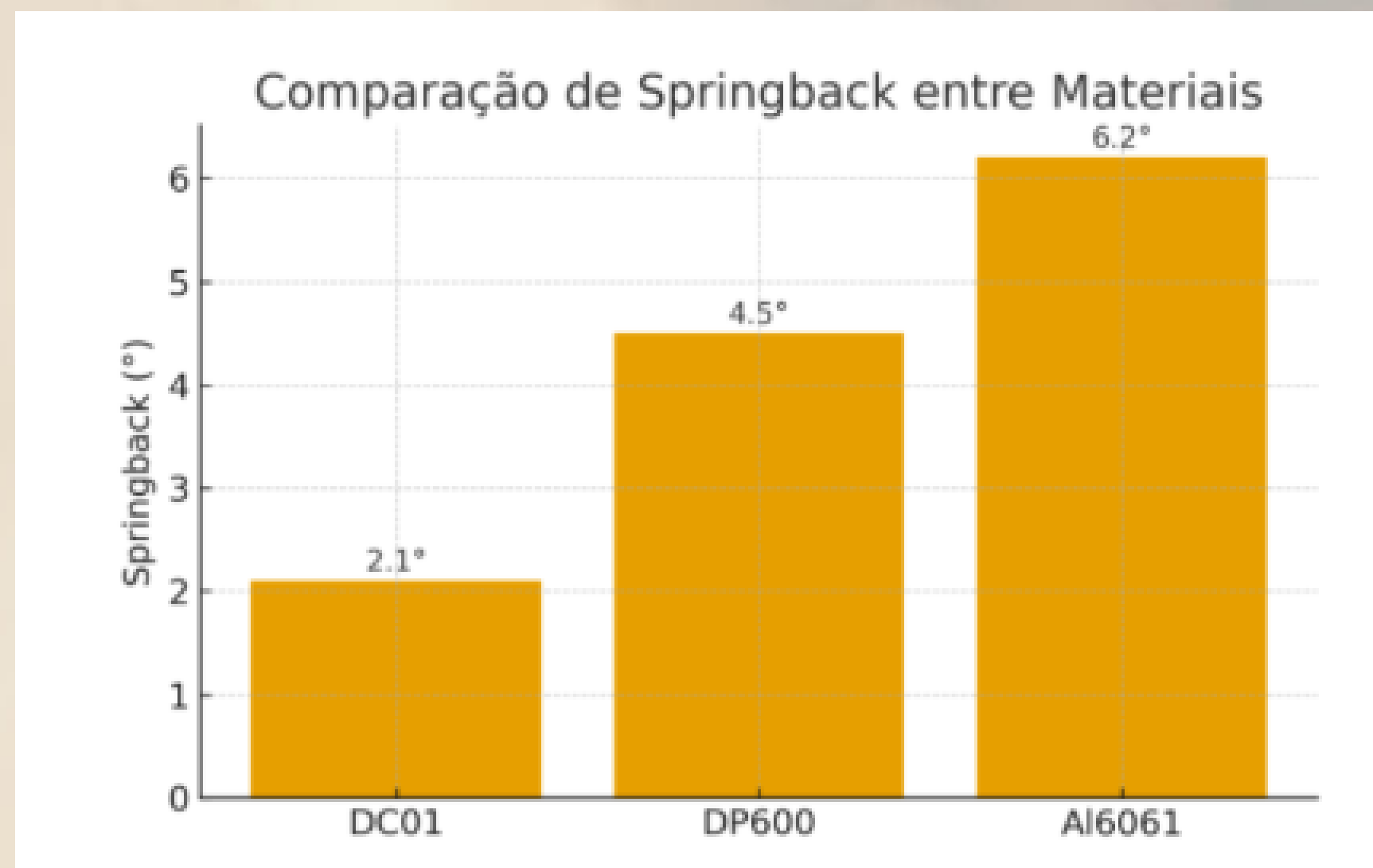


# Resultados das Simulações

-  Previsões indicaram regiões críticas de tensão e possíveis falhas.
-  DP600 e alumínio mostraram maiores gradientes de tensão.
-  Diferença entre simulação e experimento foi de apenas 5–8%.
-  Simulações confirmaram necessidade de compensação geométrica.
-  Auxiliam na otimização de matrizes e ferramental.



# Resultados das Simulações








Comparação do ângulo de springback entre os materiais estudados. O alumínio apresenta maior recuperação elástica, exigindo compensações geométricas mais rigorosas.





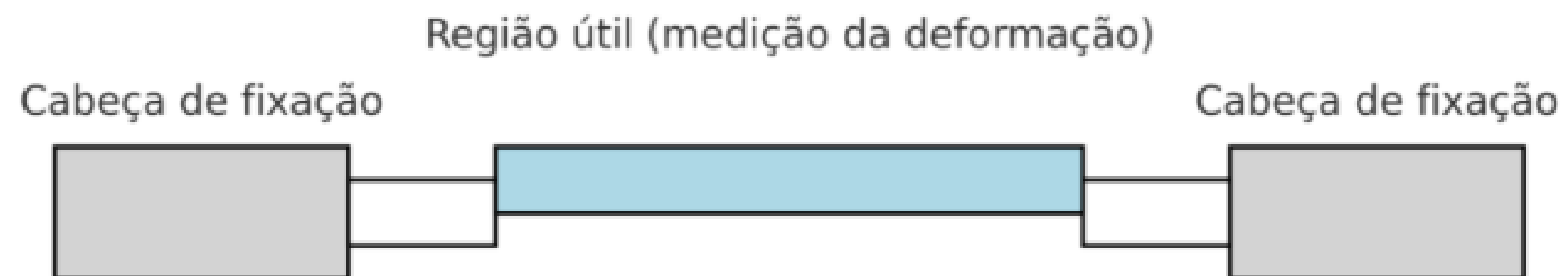
# Estudos de Caso na Indústria Automotiva

-  Ford e Volkswagen aplicam AHSS para reduzir peso estrutural.
-  Tesla e Jaguar usam carrocerias de alumínio com processo HFQ.
-  Volvo utiliza estampagem a quente com aço ao boro (>1500 MPa).
-  Toyota e Hyundai combinam AHSS com alumínio em modelos modernos.
-  Integração entre novos materiais e processos é tendência consolidada.



# Esquema de Corpo de Prova

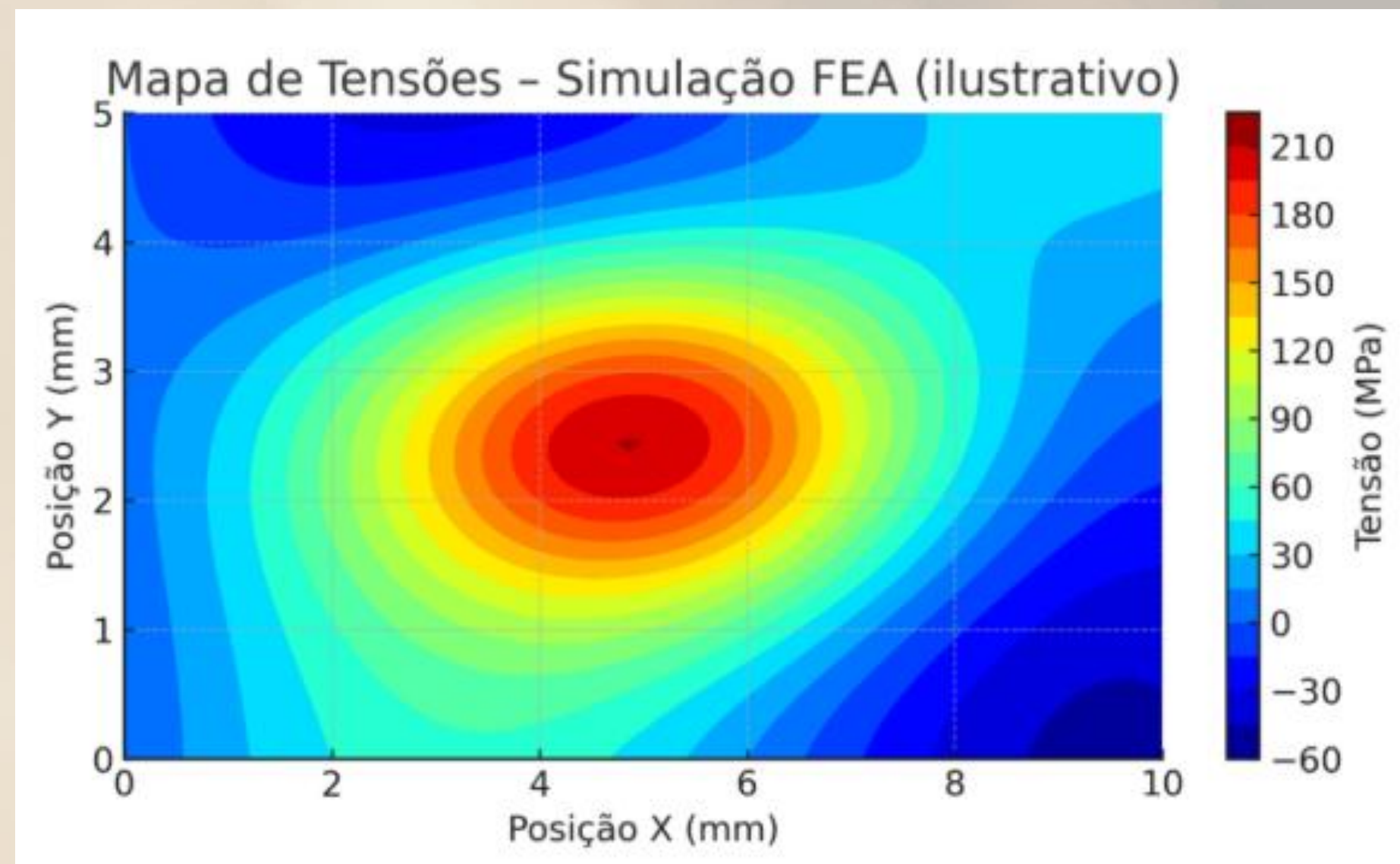
## Esquema de Corpo de Prova (Dog-bone) - Ensaio de Tração



Esquema de Corpo de prova - Ensaio de Tração.



# Mapa de Tensões










# Exemplo de Defeitos





# Setor Aeronáutico

-  Requer tolerâncias rigorosas e resistência à fadiga.
-  Ligas aplicadas: alumínio aeronáutico, titânio e aços especiais.
-  Processos: hot forming, superplastic forming e SPF.
-  Springback influencia geometria e aerodinâmica final.
-  Exige inspeções NDT e validação estrutural intensiva.





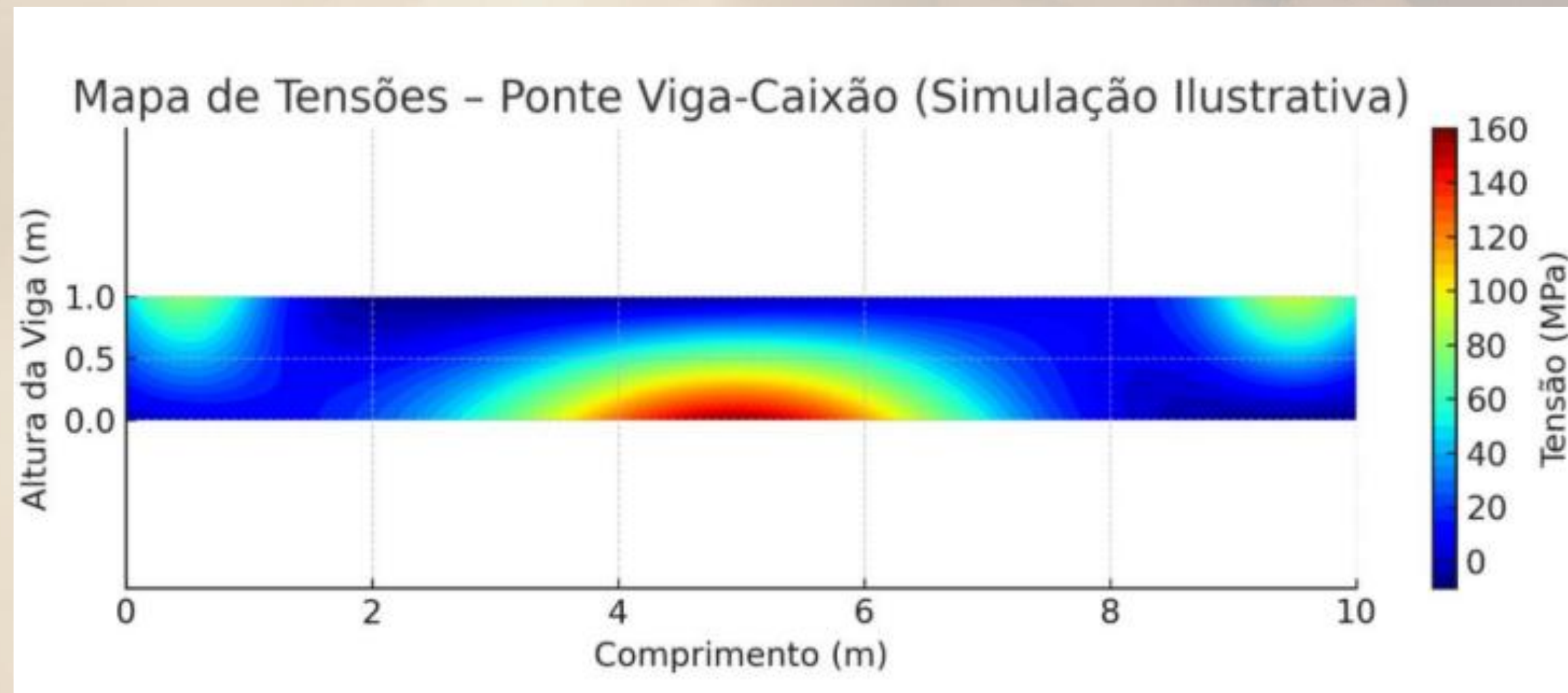
# Esquema de Ponte Metálica



Esquema de Ponte Metálica em Viga-Caixaão.








# Mapa de Tensões



Mapa de Tensões (Ponte Viga-Caixaõ).



# Conclusões

-  A análise confirmou que o comportamento de deformação plástica dos materiais é decisivo para a qualidade e a segurança dos componentes automotivos.
-  Materiais como AHSS e alumínio trazem vantagens estruturais, mas exigem maior controle devido à baixa ductilidade e ao elevado springback.
-  A integração entre ensaios experimentais e simulações numéricas mostrou alta eficácia, permitindo prever falhas e otimizar o processo antes da produção.
-  Os estudos de caso evidenciam que a indústria já depende de processos avançados, como estampagem a quente e HFQ, para atender às exigências de desempenho e redução de peso.
-  O futuro aponta para manufatura digital, uso de IA e maior sustentabilidade, consolidando a combinação entre novos materiais e modelos constitutivos avançados como caminho central para o avanço da engenharia de conformação.

**Obrigado Pela Atenção**

