

VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO ORTOTRÓPICO DE CHAPAS DE AÇO API X80

Marcelo Paranhos de Almeida¹, Lucas Nodari Gomes da Silva², Gustavo Henrique Bolognesi Donato³
^{1,3} Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI; ² Doutorado, IPEN c/ colaboração FEI
¹ marceparanhos@hotmail.com / ³ gdonato@fei.edu.br

Resumo: Este trabalho teve o intuito de desenvolver e validar boas práticas de implementação computacional de propriedades mecânicas ortotrópicas de aços API X80 em simulações estruturais. Para isso, utilizou como referência ensaios experimentais de tração e estudos paralelos do grupo de pesquisa. Simulações refinadas de elementos finitos foram desenvolvidas e permitiram estudar e validar a adequada preparação das propriedades mecânicas ortotrópicas a partir dos dados dos ensaios, viabilizando simulações seguras e precisas.

1. Introdução e objetivos

Gasodutos são responsáveis pelo transporte de fluidos inflamáveis sob alta pressão, dessa forma, acidentes envolvendo explosão são extremamente graves, podendo gerar inúmeras vítimas e perdas materiais. Assim, é de suma importância o desenvolvimento de pesquisas visando a prevenção de falhas por fraturamento, já que as trincas podem se propagar a altas velocidades (até 400 m/s) por centenas ou milhares de metros até sua parada (fenômeno denominado em inglês “*crack arrest*”) [1,2].

Neste contexto, a compreensão do comportamento mecânico destes materiais é imprescindível, especialmente em relação às propriedades de tensão vs. deformação sob tração, as quais suportam todas as iniciativas de simulação numérica dos corpos de provas laboratoriais e estruturas reais. Porém, devido à utilização de chapas laminadas na construção dos dutos de grandes diâmetros com costura, as propriedades mecânicas resultantes são ortotrópicas [1], sendo necessário, portanto, o estudo do material em diferentes direções, inclusive na direção da espessura, comumente denominada direção “Z” na literatura. Para isso, trabalhos anteriores do grupo de pesquisa desenvolveram boas práticas para o estudo e caracterização do aço API X80 nas quatro direções (0°, 45°, 90° e direção Z) [2], conforme exemplificado na Figura 1.

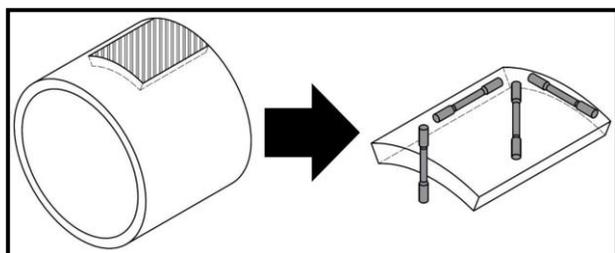


Figura 1 - Corpos de prova para as diferentes direções.

Assim, com o intuito de aprofundar a caracterização do comportamento mecânico destes materiais, este trabalho objetivou desenvolver boas práticas para implementação computacional de propriedades ortotrópicas de aços classe API em simulações estruturais, validando os ensaios experimentais.

2. Metodologia

A partir de ensaios experimentais conduzidos em pesquisa de iniciação científica paralela, foi possível obter os dados de entrada necessários para os estudos de implementação numérica. Além disso, as curvas experimentais determinadas serviram de base de comparação para a validação do modelo numérico. Tais ensaios utilizaram captura de imagens de alta resolução e bidirecionais com base na metodologia proposta por [3], que conta com pós processamento em rotina em Matlab e corrige os dados de tensão e deformação de engenharia segundo modelo de Bridgman completo [4], considerando, assim, os efeitos da condição triaxial de tensão resultante do surgimento da estricção.

Com dados experimentais sustentados pelo tratamento de imagens desenvolvido e validado no grupo, iniciou-se a implementação numérica das curvas obtidas a fim de reproduzir o comportamento mecânico observado experimentalmente. Inicialmente, foram determinados os parâmetros de ortotropia de Hill, responsáveis por caracterizar tal condição do material. Para isso, utilizou-se a metodologia proposta por [5] na qual, por meio dos coeficientes de Lankford (R0, R45 e R90), é possível estimar os parâmetros necessários. Determinados tais parâmetros, pôde-se prosseguir para a simulação computacional; neste contexto, utilizou-se o software ABAQUS CAE para geração de análises refinadas e não-lineares de elementos finitos - foram implementados modelos elastoplásticos tridimensionais representando 1/8 de um espécime de tração. A discretização foi realizada por meio de elementos hexaédricos de 8 nós com integração reduzida (C3D8R), e o modelo foi carregado com velocidade constante igual à utilizada nos ensaios experimentais (0,5 mm/s), o modelo final pode ser visualizado na Figura 2.

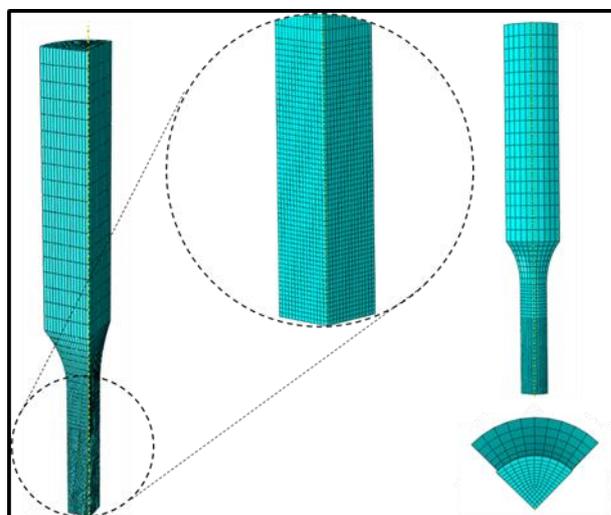


Figura 2 - Modelo tridimensional discretizado.

Em seguida, a fim de se comparar os resultados numéricos com os experimentais, foram utilizados algoritmos em Python e em Matlab com a finalidade de extrair os resultados do modelo numérico e, a partir destes, realizar a correção da curva tensão vs. deformação, novamente seguindo modelo proposto por [4], permitindo a comparação com os dados experimentais previamente tratados e corrigidos.

3. Resultados

A partir da metodologia citada, realizaram-se as simulações numéricas dos ensaios de tração com e sem a presença da ortotropia; por motivos de objetividade as curvas levantadas possuíram maior enfoque nos modelos com ortotropia, porém, na Figura 3 é possível verificar a influência da condição de ortotropia pela comparação da seção transversal resultante em ambos os modelos.

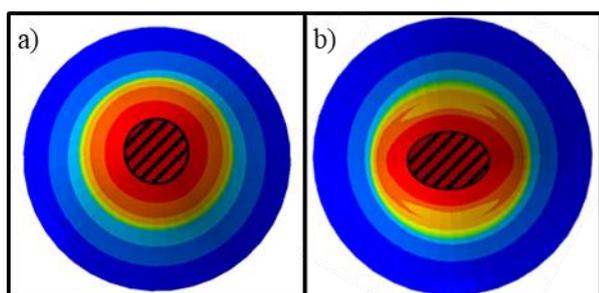


Figura 3 - Seção Transversal pós-estricção do corpo de prova. a) sem ortotropia b) com ortotropia.

A partir da análise das simulações, utilizando os algoritmos desenvolvidos em Python e Matlab por [3], foi possível extrair os resultados do modelo numérico, corrigir e construir as curvas tensão vs. deformação. Dessa forma, foram construídas as curvas de tensão vs. deformação verdadeira e verdadeira corrigida por Bridgman, com e sem as condições de ortotropia, sempre confrontando os dados numéricos e experimentais (Figura 4).

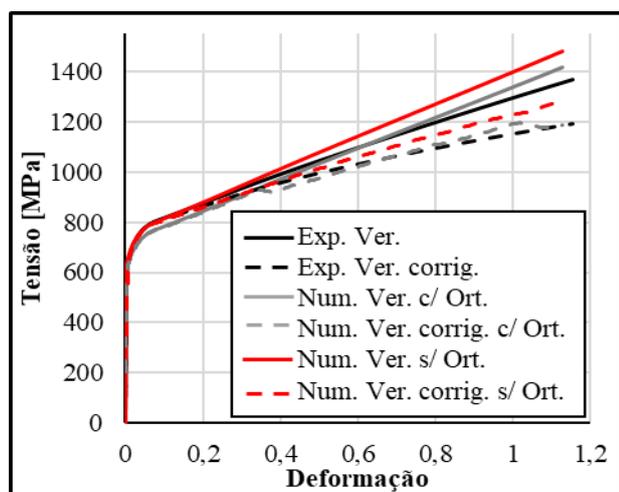


Figura 4 - Curvas tensão vs. deformação - aço API X80.

4. Conclusões

A utilização dos parâmetros de Hill se mostrou útil para avaliar a evolução do diâmetro da seção transversal,

corrigindo os efeitos da anisotropia e permitindo obter curvas tensão vs. deformação verdadeiras próximas às construídas com dados experimentais; este comportamento também foi verificado nas curvas tensão vs. deformação verdadeiras corrigidas por Bridgman, nas quais a utilização dos parâmetros permitiu obter curvas mais próximas das experimentais quando comparado ao modelo sem ortotropia, validando a obtenção do raio da circunferência osculadora (parâmetro utilizado na correção por Bridgman) por meio dos algoritmos em Python e Matlab.

Embora com boa aderência, ainda é possível verificar uma certa disparidade entre as curvas conforme a deformação evolui; essa maior diferença, possivelmente, está no método de determinação dos coeficientes de Lankford a partir de corpos de prova cilíndricos, uma vez que a maior parte das metodologias para obtenção deste parâmetro encontradas na literatura, à exemplo de [6] e [7], utilizam espécimes planares para medição das deformações experimentais. A metodologia empregada permite conduzir as simulações incorporando a anisotropia a partir dos ensaios experimentais e a fenomenologia esperada de anisotropia do Aço API X-80 foi reproduzida, mas ainda são sugeridas investigações adicionais para a determinação dos coeficientes de Lankford, especialmente para a validação das curvas numéricas corrigidas por Bridgman.

6. Referências

- [1] N. E. Dowling, Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue 4^o. Ed. [S.I.]: Pearson, 2012, pp. 190-233.
- [2] L. N. G. d. Silva, Desenvolvimento de metodologia para confecção e ensaio de amostras extraídas da espessura de chapas grossas - parte 1: ensaios de tração, Centro Universitário FEI, S. B. do Campo, 2016.
- [3] L. N. G. d. Silva, Investigação experimental das propriedades mecânicas ortotrópicas de aços API-5L X80 aplicáveis a gasodutos, Centro Universitário FEI, S. B. do Campo, 2017.
- [4] P. W. Bridgman, Studies in large plastic flow and fracture, 1^a ed., New York: McGraw-Hill Book Company, 1952.
- [5] YAN, Y. et al. The inverse parameter identification of Hill 48 yield criterion and its verification in press bending and roll forming process simulations. Pequim: Elsevier, 2015.
- [6] RAMOS, G. C. et al. Study of a drawing-quality sheet steel. I: Stress/strain behaviors and Lankford coefficients by experiments and micromechanical simulations. Rosario: [s.n.], 2010.
- [7] WU, S. H. et al. The variation of the lankford coefficient in magnesium alloy. Paris: [s.n.], 2014.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PIBITI. À FEI pelos equipamentos e recursos. Ao coautor Lucas N. G. da Silva. Ao orientador Prof. Dr. Gustavo H. B. Donato.

¹Aluno de IC com bolsa CNPq (PIBITI). Projeto com vigência de 08/19 a 07/20.