

# CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CHAPAS ORTOTRÓPICAS DE AÇO API X80

Leandro Chagas da Silva<sup>1</sup>, Lucas Nodari Gomes da Silva<sup>2</sup>, Gustavo Henrique Bolognesi Donato<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI; <sup>2</sup> Doutorando, IPEN c/ colaboração FEI

<sup>1</sup> unieleasilva@fei.edu.br / <sup>3</sup> gdonato@fei.edu.br

**Resumo:** Este trabalho visa a caracterização das propriedades mecânicas ortotrópicas de aços API X80. Para tanto, foram realizados ensaios de tração a 0°, 45°, 90° (em relação à direção de laminação) e também na direção da espessura do material, contando com captura de imagens em planos específicos dos espécimes durante os testes, as quais foram pós-processadas em rotinas especialmente desenvolvidas em Matlab para aplicação da correção de Bridgman às curvas tensão-deformação verdadeiras, objetivando a geração de uma base de dados das propriedades mecânicas dos materiais estudados.

## 1. Introdução

Gasodutos são tubulações responsáveis por transportar gases altamente compressíveis, geralmente inflamáveis, desde sua extração até as unidades de distribuição. Esses dutos possuem diâmetros variando entre 150 mm e 2500 mm, com paredes de espessuras entre 5 mm e 32 mm, sendo fabricados em materiais de alta resistência mecânica (superior a 700 MPa) e tenacidade, classificados segundo a norma API 5L [1] e fornecidos em forma de chapas ou bobinas.

Nesse âmbito, acidentes com gasodutos podem ser catastróficos, pois as pressões envolvidas promovem fenômenos de fratura acompanhados de grande liberação de energia em um curto espaço de tempo, fazendo com que as trincas se propaguem por centenas ou milhares de metros a velocidades que podem ultrapassar 400 m/s, causando danos materiais e humanos [2].

Tendo isso em vista, e dada a elevada responsabilidade destas estruturas, o conhecimento da resposta dos materiais sob condições de falha é de extrema relevância. Neste contexto, esta pesquisa buscou caracterizar, por meio de ensaios de tração com análise de imagens, o comportamento mecânico de aços API X80, amplamente empregados na fabricação de gasodutos, objetivando definir de forma criteriosa as propriedades elasto-plásticas e de absorção de energia destes materiais a partir de curvas tensão-deformação verdadeiras corrigidas por Bridgman até a ruptura.

## 2. Metodologia

Em virtude da ortotropia do material estudado (API X80), decorrente dos processos de fabricação de dutos, foram extraídos corpos de provas em diferentes direções planares (0°, 45° e 90° em relação à direção de laminação), na direção da espessura e também transversal ao comprimento do gasoduto (T) (Figura 1), segundo metodologia desenvolvida por [3] e de acordo com as diretrizes da norma ASTM E8/E8M [4].

Na sequência, foram realizados três ensaios para cada direção da chapa, a partir dos quais foram definidas

curvas médias (tensão-deformação) representativas do comportamento do material para cada orientação.

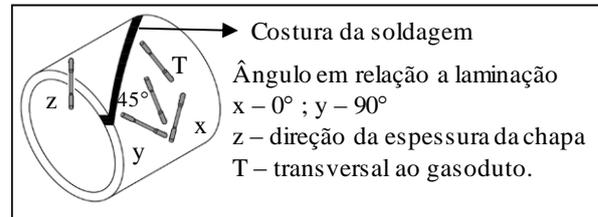


Figura 1 - Direções dos corpos de prova.

Os testes foram conduzidos na máquina universal de ensaios MTS do laboratório de materiais do Centro Universitário FEI, e contaram com duas câmeras de alta resolução posicionadas de forma frontal e lateral ao espécime (Figura 2a), com o objetivo de capturar imagens para estudo das deformações e evolução da estricção nos planos citados. Para tanto, cuidados com a iluminação e preparação dos espécimes foram tomados para que se definisse adequadamente os contornos.

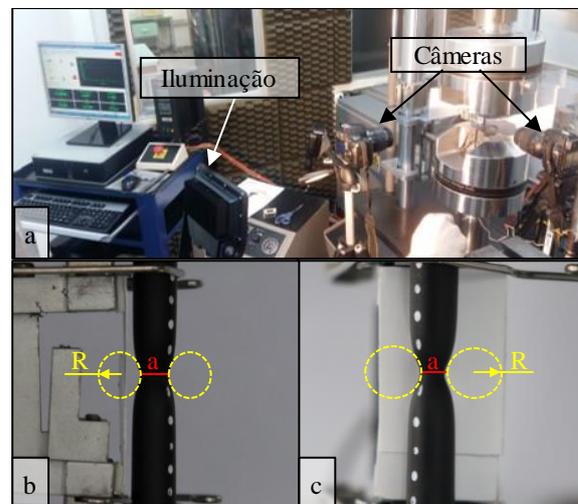


Figura 2 - (a) Preparação da máquina de ensaios para aquisição das imagens; (b,c) Imagens capturadas pelas câmeras frontal e lateral

As fotos obtidas foram processadas em rotina Matlab, para determinar o raio da circunferência osculadora à estricção (R) e o raio da menor seção transversal do corpo de prova (a/2 - Figuras 2b,c) a cada instante do ensaio, definindo o fator k (Equação 1), utilizado para correção de Bridgman das curvas tensão vs. deformação verdadeiras (equação 2) [5].

$$k = \frac{1}{\left(1 + \frac{2R}{a}\right) \ln \left(1 + \frac{a}{2R}\right)} \quad (1)$$

$$\sigma_B = k \cdot \sigma \quad (2)$$

Deste modo, cada ensaio gerou duas curvas tensão vs. deformação verdadeiras e corrigidas por Bridgman, visto que a ortotropia do material promove diferentes deformações em cada plano da chapa. Portanto, com o objetivo de obter uma única curva para cada ensaio, e partindo da observação que a anisotropia presente resultou em áreas elípticas na superfície de fratura (detalhe mostrado na Figura 3), determinaram-se as curvas tensão vs. deformação verdadeiras corrigidas pela área elíptica, bem como as curvas corrigidas por Bridgman utilizando hipótese de um fator  $k$  médio entre o tratamento frontal e lateral de forma exploratória, sendo que este estudo deverá seguir em pesquisas futuras.

### 3. Resultados

Por questões de objetividade e espaço, será apresentado o resultado de apenas uma chapa, uma vez que os resultados são representativos das demais e a metodologia utilizada é similar. O tratamento dos dados adquiridos durante o ensaio de tração, em conjunto com as imagens, resultaram nas curvas mostradas na Figura 3, sendo que as curvas frontal e lateral não definem o real comportamento do material, justificando a importância da correção pela área elíptica, que foi utilizada para determinação da curva média (também na Figura 3).

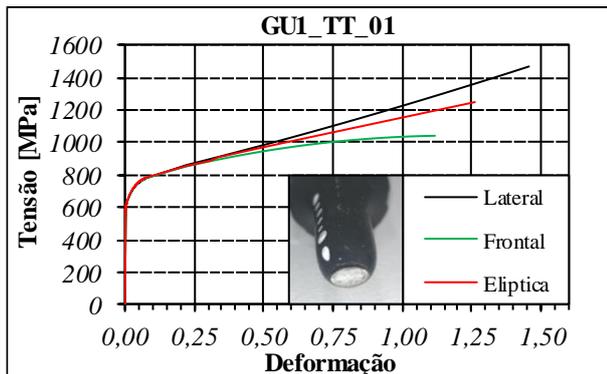


Figura 3 - Curvas tensão vs. deformação verdadeiras corrigidas por Bridgman.

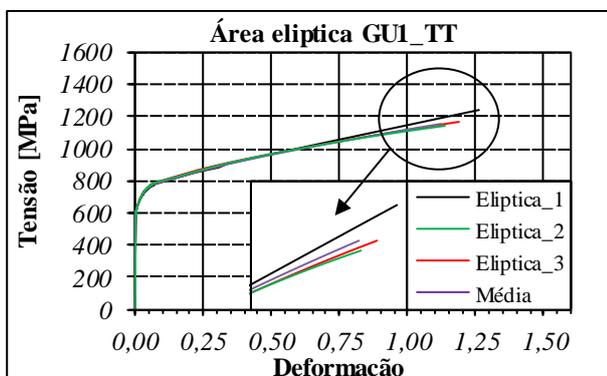


Figura 4 - Média das curvas tensão vs. deformação verdadeiras da área elíptica corrigida por Bridgman

Portanto, a partir dos três ensaios realizados para cada direção definiu-se uma única curva representativa das demais, como indicado pela curva média na Figura 4,

permitindo a caracterização das propriedades mecânicas mostradas na Tabela 1 (faltando ainda as propriedades na direção Z, pois devido à pandemia os ensaios ainda estão em andamento), que exemplifica os resultados para uma das chapas em estudo, sendo:  $E$  o módulo de Elasticidade,  $\sigma_{LE}$  o limite de escoamento,  $\sigma_{LR}$  o limite de resistência,  $n$  o expoente de encruamento e  $K$  o coeficiente de resistência).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da chapa GU1

GU1	$E$ (GPa)	$\sigma_{LE}$ (MPa)	$\sigma_{LR}$ (MPa)	$n$	$H$
0°	208,3	621,9	744,1	0,0726	966,15
45°	200,2	589,6	717,0	0,0763	939,73
90°	218,7	644,3	763,9	0,0674	978,66
$T$	203,6	607,9	729,3	0,0745	948,99

### 4. Conclusões

Essa pesquisa possibilitou caracterizar as principais propriedades mecânicas de aços API X80 utilizando análise de imagens em dois planos, uma vez notada a ortotropia marcante que, inclusive, resultou em superfícies de fratura elípticas nos ensaios de tração.

Observou-se, também, que as curvas tensão vs. deformação com área elíptica e  $k$  médio situaram-se entre as curvas dos planos frontal e lateral.

Por fim, notou-se que o limite de escoamento e resistência do material estudado na direção a 90° é superior às propriedades da direção de laminação (0°), o que é inesperado, já que comumente esta direção se apresenta como a mais resistente. Contudo, este resultado pode ser consequência do processo de conformação envolvido na fabricação dos dutos que, ao deformar plasticamente o material, altera a microestrutura da chapa criando novas direções principais. Esta investigação, entretanto, não foi foco deste trabalho.

### 5. Referências

- [1] API. API 5L: Specification for Line Pipe. 45ª. ed. Washington D. C.: API Publishing Services, 2013.
- [2] N. E. Dowling, "Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue," 4ª ed., Nova Jersey, Prentice Hall, 2012.
- [3] 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" S. B. do Campo, 2016.
- [4] ASTM a770/A770M: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic. West Conshohocken: ASTM International, 2015.
- [5] P. W. Bridgman, Studies in large plastic flow and fracture, 1ª ed., New York: McGraw-Hill Book Company, 1952.

### 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.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI (CNPq - PIBITI). Projeto com vigência de 08/19 a 07/20.