

ESTUDO DOS DADOS OBTIDOS EM UM ENSAIO DE TRAÇÃO ACOMPANHADO DE TERMOGRAFIA¹

Guilherme Vieira Braga Lemos²
Leandro Medeiros da Silva²
Bill Paiva dos Santos³
Guillermo Alejandro Mudry³
Jefferson Haag³
Vagner Machado Costa³
Diego Moises Vieira⁴
Daniel Antonio Kapper Fabricio⁵
Telmo Roberto Strohaecker⁶

Resumo

O ensaio de tração é essencial para a caracterização de uma ampla gama de materiais (metálicos, polímeros, cerâmicos etc.). No entanto existem particularidades no ensaio, como a velocidade de deformação, que pode alterar significativamente os resultados. A termografia possui a capacidade de observar modificações na temperatura e, conseqüentemente, auxilia na visualização dos fenômenos que envolvem o ensaio. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da variação da velocidade de deformação acompanhado de uma análise termográfica. Foram realizados ensaios de tração, segundo a norma ASTM E8, em corpos de prova produzidos a partir de um aço microligado, correlacionando a temperatura e a velocidade de deformação ao longo do ensaio com seus efeitos nas propriedades do material. Com os resultados é possível concluir que uma variação na taxa de deformação acarreta em mudanças nas propriedades mecânicas e também na temperatura das amostras.

Palavras-chave: Ensaio de tração; Taxa de deformação; Propriedades; Termografia.

STUDY DATA OBTAINED IN A TENSILE TESTS ACCOMPANIED BY THERMOGRAPHY

Abstract

The tensile test is essential to characterize a wide range of materials (metals, polymers, ceramics etc.). However, there are peculiarities in the assay, such as the strain rate, which can significantly alter the results. Thermography has the ability to observe changes in temperature and consequently assists in visualization of phenomena involving the mechanical testing. Hence, the objective of this study is to evaluate the effect of test speed with the accompaniment by infrared thermography analysis. Tensile tests were conducted according to ASTM E8, on test specimens made from microalloyed steel by correlating the temperature and strain rate during the test. With the results we conclude that a variation in strain rate leads to changes in the mechanical properties of the samples and also in the temperature.

Key words: Tensile tests; Strain rate; Properties; Thermography.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Mestrando do PPGE3M - UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia Metalúrgica. UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

⁵ Graduando em Engenharia de Produção. UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

⁶ Professor Dr. do PPGE3M, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de tração são rotineiros na caracterização dos diversos tipos de materiais existentes. Os resultados obtidos com os ensaios são influenciados por diversas variáveis como: temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho de grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais.⁽¹⁻⁴⁾

Dentre os parâmetros essenciais de ensaio que, na grande maioria das vezes, afetam os resultados, a velocidade de deformação precisa ser expressa nos laudos, relatórios e especificações do material. De um modo geral, a velocidade de deformação (muitas vezes chamada de velocidade de ensaio) afeta o escoamento e o limite de resistência máxima fazendo com que se observem tensões de escoamento mais altas, quanto maior for a velocidade de deformação.^(2,5-7) Não há um valor único e definido para a taxa de deformação, porém existem algumas faixas de valores mais adequadas e distintas maneiras de medição destas de acordo com normas técnicas. Desta forma, foi verificado que a alteração da velocidade de deformação pode ter uma influência significativa nos resultados do ensaio de tração. A termografia por infravermelho é um conveniente ensaio não destrutivo que verifica os campos de temperatura em uma amostra, por exemplo, sem contato direto com o componente. A câmera mede as variações de temperatura com base na irradiação de uma superfície do objeto.⁽⁸⁾ A medição e análise dos campos de temperatura durante os ensaios mecânicos são frequentemente usados para: (i) analisar um fenômeno físico, (ii) validar hipóteses, (iii) identificar parâmetros macroscópicos, (iv) ou validar a estrutura de um modelo termodinâmico macroscópico.⁽⁹⁾ Esta técnica tem sido utilizada com sucesso em diversas aplicações de monitoramento de condições, tais como: em estruturas civis, equipamentos elétricos, no monitoramento de deformações plásticas, na inspeção de deformação elástica, soldagem, avaliação do processo de deposição de vapor químico, indústria nuclear, aeroespacial, alimentícia e da celulose.⁽¹⁰⁾ Então, neste contexto, a termografia foi utilizada para verificar a temperatura máxima observada na região de fratura do corpo de prova ensaiado em tração com diferentes parâmetros de ensaio empregados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 mostra a composição química que se refere a um aço microligado, resultado de uma análise com espectrometria de emissão ótica (equipamento Spectrolab tipo LAVMB08B).

Tabela 1. Composição química

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	B
0,151	0,537	1,11	0,032	0,023	0,094	0,013	0,007	0,05	0,001	0,0003

Os corpos de prova foram usinados conforme previsto em normas^(11,12) reconhecidas para os ensaios. A Figura 1a apresenta o CP de tração em seu formato real, enquanto que a Figura 1b mostra o desenho com suas dimensões em milímetros. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina eletromecânica marca Instron (modelo 5585H) com capacidade para 25 toneladas. O alongamento foi medido a partir dos dados da máquina. Por fim, após usinagem e fabricação dos corpos de prova, eles foram submetidos ao ensaio de tração em temperatura ambiente (25°C).

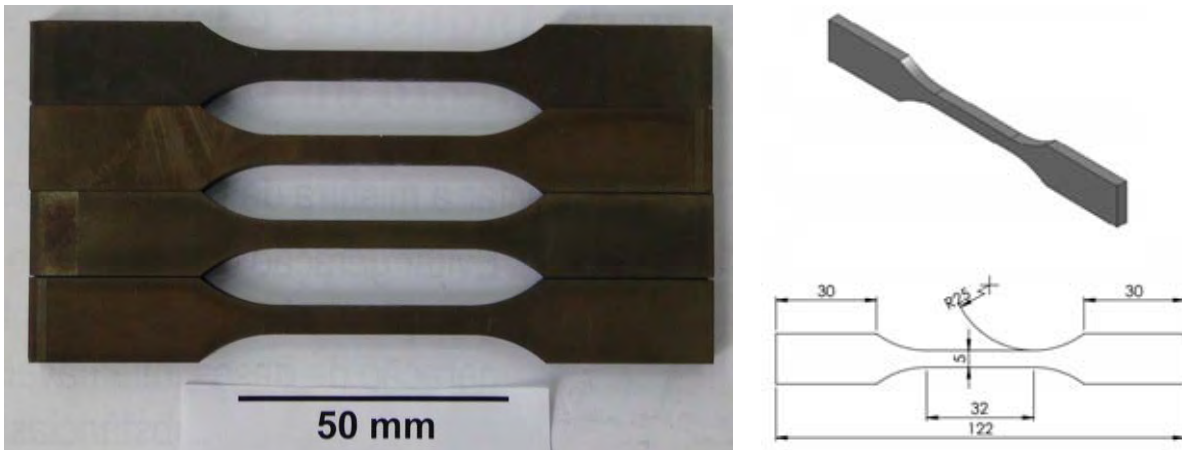


Figura 1. (a) corpo de prova real; (b) corpo de prova com duas dimensões.

Para a verificação das temperaturas foi utilizada uma câmera termográfica modelo Onca 3695 InSb da marca Xenics Infraed Solutions com auxílio do software Xeneth v2.2.0 para a análise dos dados.

Para o cálculo da tenacidade foi usada a regra dos trapézios, de acordo com métodos numéricos, e assim calculada a área abaixo da curva tensão-deformação. A Figura 2 esquematiza o cálculo da área através desse método utilizando $n=6$ pontos.⁽¹³⁾ Nota-se que, quanto maior o número de pontos $(x_i, f(x_i))$ utilizados no cálculo, mais a integral numérica se aproximará do valor verdadeiro. A Equação 1 representa uma boa aproximação para a área sob a curva entre a e b com um conjunto de n pontos do tipo $(x_i, f(x_i))$ para $a \leq x_i \leq b$.⁽¹⁴⁾

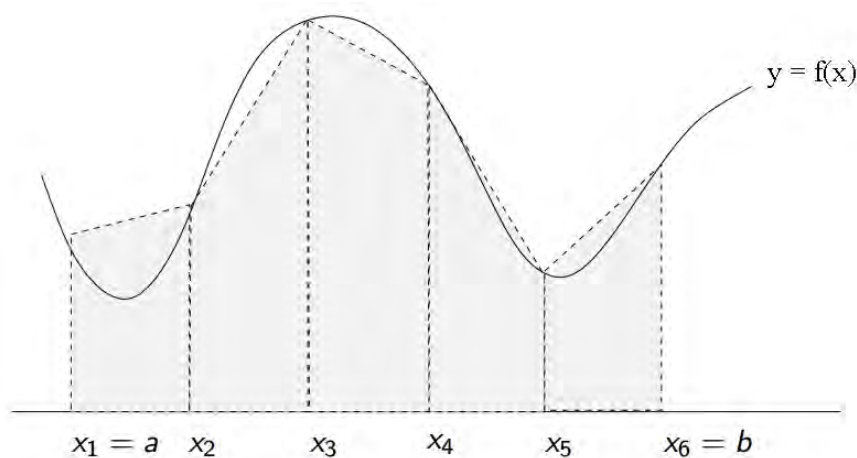


Figura 2. Regra dos trapézios.⁽¹²⁾

$$Tenacidade = \int_a^b f(x)dx \cong \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) \frac{[f(x_{i+1}) + f(x_i)]}{2} \quad \text{Equação 1}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados de acordo com as diferentes velocidades de deformação utilizadas nos ensaios. Para as velocidades de 12,5 mm/min (cor verde), 100 mm/min (cor roxa) e 500 mm/min (vermelha) os gráficos se mostraram

semelhantes, enquanto que para a velocidade de 5 mm/min (cor azul) o resultado é diferente. Um aumento na taxa de deformação ocasiona um aumento no limite de escoamento (LE),^(2,5-7) salientando que este fato que é observado para as taxas de deformação de 5 mm/min, 12,5 mm/min e 100 mm/min quando comparadas entre elas.

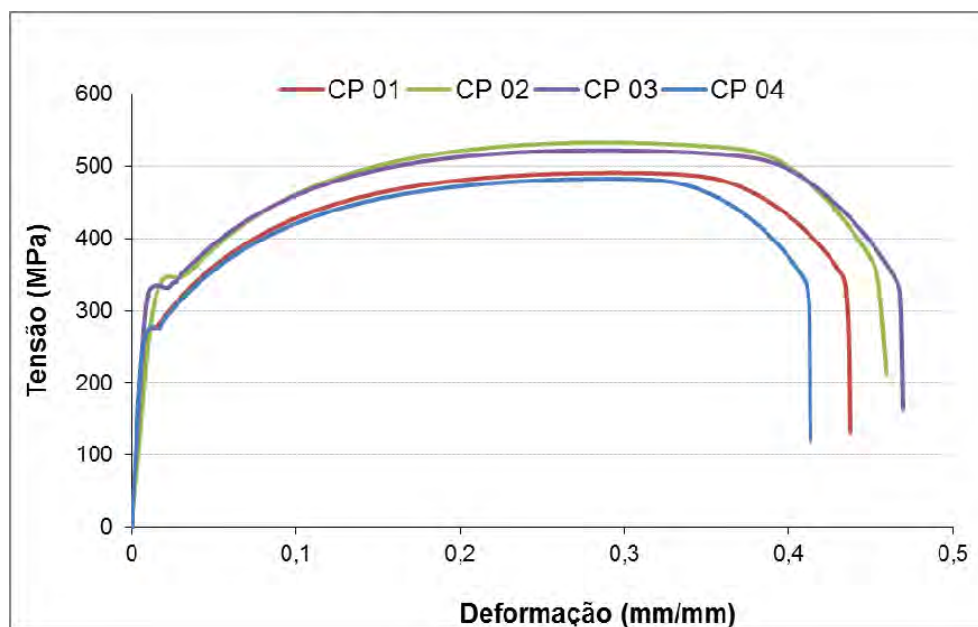


Figura 3. Curvas tensão-deformação para as velocidades empregadas.

A Tabela 2 apresenta os principais resultados alcançados e as propriedades mecânicas obtidas para cada uma das taxas de deformação empregadas. Os valores obtidos divergiram entre si e mostraram que um aumento da velocidade de deformação resulta em um aumento da tensão de escoamento e da resistência máxima.

Tabela 2. Resultados os ensaios de tração

Velocidade (mm/min)	Amostra	LE (MPa)	LR (MPa)	Módulo de Tenacidade (N.mm /mm ³)
5 (azul)	CP01	262,90	482,80	176,91
12,5 (verde)	CP02	315,22	533,11	217,18
100 (roxa)	CP03	327,66	522,14	219,91
500 (vermelha)	CP04	272,61	491,01	190,97

Na Figura 4 pode-se observar o perfil de temperatura dos quatro corpos de prova durante o ensaio levando em conta as taxas de deformação (em mm/min) utilizadas. É possível observar com ajuda da escala de temperatura, em cada imagem, que maiores temperaturas são alcançadas na região estrição do corpo de prova. O campo de temperatura presente durante o ensaio mostra claramente, em todos os casos, que esta temperatura máxima coincide com a região de início do empescoamento na amostra, apresentando também gradientes de temperatura maiores para os ensaios onde as taxas de deformação foram mais elevadas.

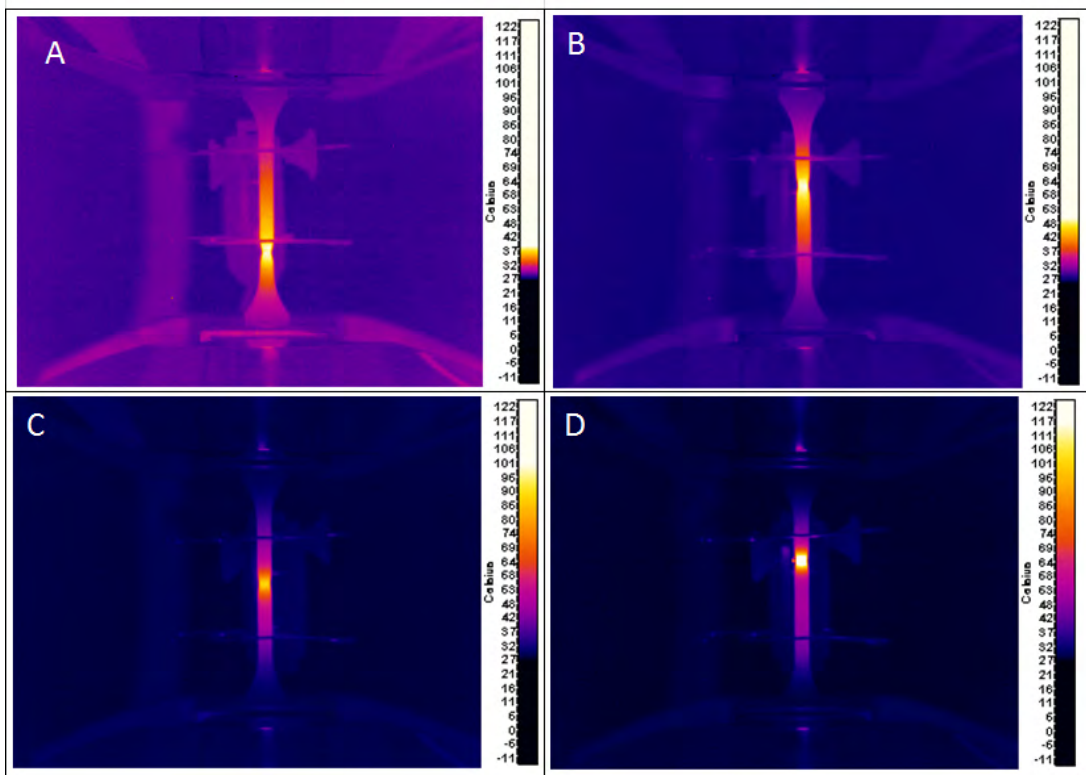


Figura 4. Perfil de temperatura para os ensaios realizados com diferentes velocidades de deformação: (a) 5mm/min, (b) 12,5 mm/min, (c) 100mm/min e (d) 500 mm/min.

A Figura 5 mostra a variação máxima de temperatura entre os 4 CPs na região da fratura e a temperatura máxima atingida em função da variação da velocidade de deformação. A temperatura mínima está relacionada à temperatura ambiente, que são as condições do ambiente de ensaio. A temperatura máxima é o fator de maior importância, pois relaciona a variação da taxa de deformação com a maior temperatura alcançada para cada condição avaliada. Pode-se observar que a temperatura máxima aumenta consideravelmente para as taxas de deformação de 5 mm/min, 12,5 mm/min e 100 mm/min, como já foi estudado para o ensaio mecânico (fadiga) na avaliação de reatores,⁽⁹⁾ porém para velocidades maiores (500 mm/min) não temos um aumento expressivo desta temperatura.

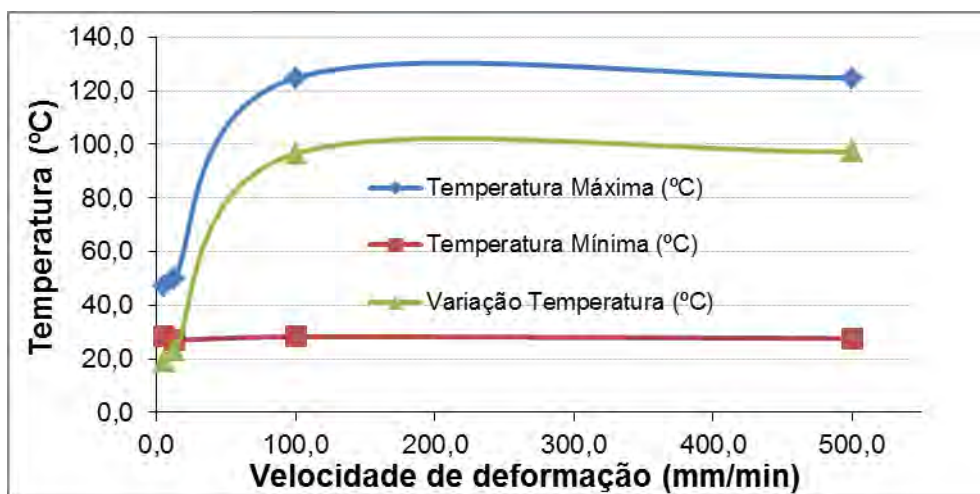


Figura 5. Temperatura máxima, mínima e variação de temperatura em função da variação de velocidade.

A Figura 6 apresenta o tempo que cada CP levou para chegar à temperatura máxima na região da fratura. Quanto maior a velocidade de deformação menor é o tempo para que seja atingida a temperatura máxima, considerando a faixa de velocidade de 0 a 100min/min, este fato pode ser explicado, pois existe uma correlação entre uma maior taxa de deformação pode levar a um início prematuro do crescimento das trincas.

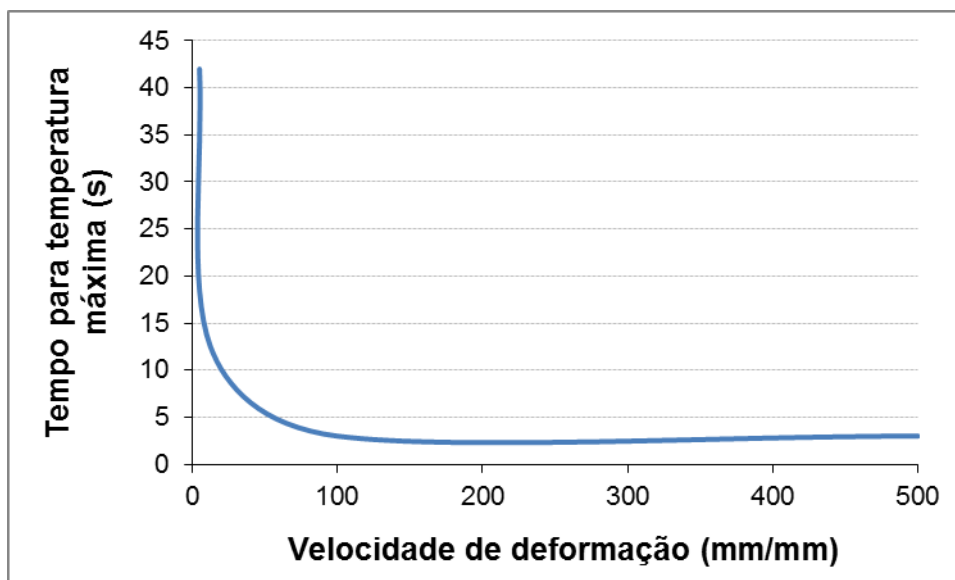


Figura 6. Tempo em que a máxima temperatura foi atingida em função da velocidade de deformação.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados alcançados, conclui-se que:

- a taxa de deformação pode alterar significativamente os resultados do ensaio de tração e como consequência também pode modificar as temperaturas dos corpos de prova no momento da fratura e também nas propriedades do material; e
- os corpos de prova ensaiados com taxas de deformação maiores apresentaram temperaturas mais elevadas nas regiões de fratura, o que se acredita que seja resultado de um tempo menor para liberação desta energia durante o ensaio.

REFERÊNCIAS

- 1 GARCIA, A.; SPIM, J. A.; DOS SANTOS, C. A. Ensaios dos Materiais. 2 ed. Rio de Janeiro. 2012.
- 2 DIETER, G., Metalurgia Mecânica, Guanabara Dois, Rio de Janeiro. 1981.
- 3 SOUZA, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos Teóricos e Práticos. 1982.
- 4 MEYERS, M. A.; CHAWLA, K. K. Mechanical Behavior of Materials. 2008.
- 5 KVAČKAJ, T.; KOVÁČOVÁ, A.; KVAČKAJ, M.; POKORNÝ, I.; KOČIŠKO, R.; DONIČ, T. Influence of Strain Rate on Ultimate Tensile Stress of Coarse-grained and Ultrafine-grained Copper. Materials Letters. 2010.
- 6 LUO, J.; LI, M.; YU, W.; LI, H. The Variation of Strain Rate Sensitivity Exponent and Strain Hardening Exponent in Isothermal Compression of Ti–6Al–4V Alloy. Materials and Design. 2010.

- 7 BOYCE, B. L.; DILMORE, M.F. The Dynamic Tensile Behavior of Tough, Ultrahigh-Strength Steels at Strain-Rates from 0.0002 s⁻¹ to 200 s⁻¹. *International Journal of Impact Engineering*. 2008.
- 8 DOUDARD, C.; CALLOCH, S.; HILD, F.; ROUX, S. Identification of Heat Source Fields from Infrared Thermography: Determination of 'Self-Heating' in a Dual-Phase Steel by Using a Dog Bone Sample. *Mechanics of Materials*. 2009.
- 9 BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B. B.; SARAVANAN, T.; PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T. Infrared Thermography for Condition Monitoring – A Review. *Infrared Physics & Technology*. 2013.
- 10 RAO, K. P.; SREENU, A. V.; RAFI, H. K.; LIBIN, M. N.; BALASUBRAMANIAM, K. Tool Steel and Copper Coatings by Friction Surfacing – A Thermography Study. *Journal of Materials Processing Technology*. 2011.
- 11 ISO 6892-1. *Metallic Materials - Tensile Testing - Part 1: Method of Test at Room Temperature*. 2009.
- 12 ASTM E8/EM8. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
- 13 CAMPONOGARA, E. Integração Numérica: Introdução, Regra dos Retângulos e Regra do Trapézio. Disponível em: <<http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-5103/Slides/I20-numint-intro.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2013.
- 14 Universidade de São Paulo (USP). Notas de Aula de Cálculo Numérico: Integração Numérica. Disponível em <<http://www.alunos.eel.usp.br/numerico/notasDeAula/integracao.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2013.