

EQUIVALÊNCIA ENTRE DADOS DE TRAÇÃO A QUENTE E FLUÊNCIA NO AÇO 2,25Cr-1Mo. Parte 3 – ANÁLISE COM DADOS EXISTENTES NA LITERATURA¹

Noeli Bragalda dos Santos²
 Levi de Oliveira Bueno³

Resumo

Dados de tração a quente publicados por Klueh e Oakes Junior e Klueh, e dados de fluência publicados por Klueh, com o aço 2,25Cr-1Mo, são analisados aplicando-se uma metodologia de equivalência proposta para correlação entre esses dois tipos de resultado. O aço foi ensaiado pelos autores em 4 diferentes condições de tratamento térmico: 3 tipos de recozimento, com diferentes graus de resfriamento, e um tratamento de normalização seguido de revenimento. Os dados de tração a quente puderam ser analisados em conjunto com os dados de fluência segundo 4 tipos principais de gráfico comumente empregados no estudo do comportamento de fluência dos materiais metálicos: variação da taxa mínima de fluência com a tensão, da tensão com o tempo de ruptura, da taxa mínima de fluência com o tempo de ruptura e a curva de parametrização de Larson-Miller. A compatibilidade que os dados de tração a quente apresentam com os de fluência é notável, em todos os procedimentos de análise, confirmando a consistência da metodologia proposta, como verificado em trabalhos anteriores.

Palavras-chave: Aço 2,25Cr-1Mo; Tração a quente; Fluência; Extrapolação de dados.

EQUIVALENCE BETWEEN HOT TENSILE AND CREEP DATA IN 2.25Cr-1Mo STEEL. Part 3 – ANALYSIS WITH DATA FROM LITERATURE

Abstract

Hot tensile data published by Klueh and Oakes Junior and Klueh as well as creep data published by Klueh, in the 2.25Cr-1Mo steel, are analyzed by means of a recent methodology of equivalence proposed for correlation between both kind of results. The steel was tested by the authors in 4 different thermal treatment conditions: 3 kinds of annealing, with different cooling rates, and a quench treatment followed by tempering. The hot tensile data could be analyzed together with creep data, according to four diagrams normally employed in the study of creep behavior in metals: LOG(minimum creep rate) x LOG(stress), LOG(stress) x LOG(rupture time), LOG(minimum creep rate) x LOG(rupture time) and LOG(Stress) x LMP. The compatibility between the hot tensile and creep data is remarkable in all these analysis procedures, bringing confirmation for the validity of the proposed methodology, as verified in previous works with the same steel and other metallic materials.

Keywords: 2.25Cr-1Mo steel; Hot tensile data; Creep data; Data extrapolation.

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

² *Engenheira química. MSc. PPG/CEM – UFSCar. São Carlos, SP, Brasil.*

³ *Engenheiro mecânico. PhD. Professor Associado do DEMA/UFSCar. São Carlos, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O seguinte critério foi proposto por Bueno^(1,2) estabelecendo as relações entre os parâmetros de tração a quente e fluência:

- a tensão máxima no teste de tração a quente é virtualmente idêntica à tensão aplicada no teste de fluência;
- a taxa de deformação no teste de tração a quente é virtualmente idêntica à taxa mínima de fluência no teste de fluência; e
- o tempo para ocorrência da tensão máxima no teste de tração a quente é virtualmente idêntico ao tempo de ruptura no teste de fluência.

Empregando-se essas regras, é possível fazer-se a transposição de dados de uma modalidade de teste na outra, ou seja: dados de tração a quente podem ser interpretados como dados de fluência e vice-versa. O principal interesse nessa conversão tem sido sempre passar dados de tração a quente para a modalidade de fluência, visando corroborar no processo de análise com a finalidade de extrapolação dos resultados. Diversos trabalhos foram divulgados, dentro desse enfoque, envolvendo o aço 2,25Cr-1Mo,⁽²⁻⁶⁾ tendo os resultados sido considerados altamente satisfatórios. Outros materiais, como o cobre, o alumínio e o latão, foram também submetidos a essa nova metodologia de análise, com resultados igualmente animadores.⁽⁷⁻⁹⁾

Em todos os trabalhos acima citados, os resultados experimentais referentes aos testes de tração a quente e fluência foram gerados sempre no mesmo laboratório. No entanto, consultando a literatura, foi possível o acesso a um importante conjunto de resultados de tração a quente e de fluência produzidos no Oak Ridge National Laboratory, com o aço 2,25Cr-1Mo, durante a década de 70, e publicados por Klueh and Oakes Junior^(10,11) e Klueh.⁽¹²⁻¹⁴⁾ O interesse dos autores naquele contexto foi verificar como o material se comportava sob tração quente e sob fluência, quando diferentes tipos de tratamento térmico eram utilizados. Os resultados envolvendo cada modalidade de teste foram publicados separadamente e naturalmente nenhuma correlação entre eles foi realizada na ocasião.

O presente trabalho foi concebido no sentido de verificar se os resultados dos autores acima mencionados⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ podem ser também correlacionados utilizando-se a metodologia de equivalência proposta para transposição de dados entre ambas modalidades de teste. Realiza-se também uma comparação dos resultados de aplicação da metodologia nos dados citados⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ com as curvas de análise que foram obtidas na Parte 1 deste trabalho.⁽¹⁵⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Em seus trabalhos Klueh and Oakes^(10,11) e Klueh⁽¹²⁻¹⁴⁾ empregaram o aço 2,25Cr-1Mo, na forma de chapa com 1" de espessura, submetida a 4 diferentes tratamentos térmicos, denominados como:

- Recozimento AN1 (c/resfriamento lento): tratamento a 927°C por 1h seguido de resfriamento no forno até 250°C em 27h, produzindo uma estrutura de ferrita pro-eutetóide + 15/20% bainita + 1% perlita fina, com tamanho de grão da ferrita ASTM 6.
- Recozimento AN2 (c/resfriamento rápido): tratamento a 927°C por 1h seguido de resfriamento no forno até 250°C em 19h, Microestrutura: ferrita pro-eutetóide + 20/25% bainita, com tamanho de grão da ferrita ASTM 5.

- Normalização e revenimento NT: tratamento a 927°C por 1h seguido de resfriamento ao ar (normalização); tratamento a 704°C por 1 h, seguido de resfriamento ao ar (revenimento). A microestrutura decorrente foi inteiramente bainítica.
- Recozimento isotérmico IA: tratamento a 927°C por 1h seguido de resfriamento no forno (com velocidade de 83°C/h) até 704°C, mantendo-se por 2h, depois resfriado no forno. Microestrutura: ferrita pro-eutetóide + 15/20% bainita, com tamanho de grão da ferrita ASTM 5.

Nos ensaios de tração a quente os autores⁽¹⁰⁻¹²⁾ utilizaram uma máquina universal INSTRON, atuando com velocidade constante de tração, produzindo 4 taxas nominais de deformação diferentes, a saber: $2,67 \times 10^{-6}$, $6,67 \times 10^{-5}$, $6,67 \times 10^{-4}$ e $6,67 \times 10^{-3}$. Os corpos de prova nesses ensaios tinham formato cilíndrico com as seguintes dimensões em sua parte útil: $d_o = 6,35$ mm e $L_o = 31,75$ mm. Dez níveis de temperatura foram explorados, a saber: 25 – 204 – 260 – 316 – 371 – 454 – 510 – 538 – 566 – 593°C. Os autores⁽¹⁰⁻¹²⁾ executaram 4 ensaios de tração em cada nível de temperatura.

Nos ensaios de fluência,^(13,14) foram empregadas máquinas da modalidade de carga constante, com sistema de alavanca tendo fatores de multiplicação de carga de 1:12 e 1:20. As medidas de deformação foram tomadas com extensômetros mecânicos acoplados a relógios comparadores. Os corpos de prova nesses ensaios eram também de formato cilíndrico com as seguintes dimensões em sua parte útil: $d_o = 6,4$ mm e $L_o = 63,5$ mm. Apenas 4 níveis de temperatura foram explorados nos ensaios de fluência, a saber: 454 – 510 – 566°C.

É importante ressaltar que os tempos de ruptura atingidos nos ensaios de fluência programados por Klueh^(13,14) foram razoavelmente longos, tendo bom significado para extrapolação. Por exemplo, os tempos de ruptura mínimos e máximos para cada material foram, respectivamente, os seguintes: 16,3 h / 12058,1 h para a condição AN1, 220,0 h / 2372,8 h para a condição AN2, 68,5 h / 9918,7 h para a condição IA e 3,8 h / 6945,0 h para a condição NT. No total, foram realizados 68 ensaios de fluência, da seguinte maneira: 20 testes no AN1, 8 testes no AN2, 15 testes no IA e 25 testes no NT.

Na análise dos dados, tanto de tração como de fluência, os autores⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ utilizaram sempre valores nominais (ou de engenharia) para as grandezas: tensão e deformação e taxa de deformação.

É preciso mencionar também que no presente trabalho faremos a equivalência entre os dados de tração com os de fluência desses autores,⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ utilizando os dados de apenas 5 níveis de temperatura na faixa de 454°C a 593°C, a saber: 454 – 510 – 538 – 566 – 593°C, em que é possível fazer a correspondência melhor entre os dois tipos de teste, e compará-los com os resultados do artigo da Parte 1 do presente trabalho.⁽¹⁵⁾ Os autores⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ realizaram ensaios de tração nas temperaturas de 25 – 204 – 260 – 316 – 371°C e não de fluência, evidentemente por não apresentar interesse prático para utilização do material em condições de fluência nessas temperaturas.

Em todos os 5 trabalhos mencionados,⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ os autores fazem uma descrição detalhada dos dados, na forma de tabelas, com todos os valores envolvidos. No caso dos testes de tração mencionam os seguintes parâmetros: Temperatura, Taxa de Deformação, Tensão de escoamento a 0,2%, Limite de Resistência a Tração, Tensão de Ruptura, Alongamento Uniforme, Alongamento Total e Redução de Área. No caso dos testes de fluência, são mencionados: Temperatura, Tensão Aplicada

Taxa Mínima de Fluência, Tempo de Ruptura, Alongamento Final e Redução de Área.

Difícilmente encontram-se dados na literatura com esse grau de detalhamento. É importante ressaltar que, sem as tabelas com os valores numéricos dos resultados de cada teste, seria impossível fazer-se a transposição dos dados de tração a quente para os de fluência que serão apresentados no presente trabalho. Por exemplo, seria impossível atribuir um “tempo de ruptura” aos ensaios de tração a quente, se os autores não tivessem mencionado em suas tabelas o valor do Alongamento Uniforme em cada ensaio de tração.

3 RESULTADOS

A Figura 1 mostra um conjunto de 4 gráficos que são comumente empregados na análise do comportamento de fluência em materiais metálicos, ou seja: o gráfico da variação do LOG (Taxa Mínima de Fluência) com o LOG (Tensão) (também conhecido como gráfico de Norton), Figura 1a, o gráfico da variação do LOG (Tensão) com o LOG (Tempo de Ruptura) (Figura 1b), o gráfico da variação do LOG (Taxa Mínima de Fluência com o LOG (Tempo de Ruptura) (também conhecido como gráfico de Monkman-Grant) (Figura 1c), e o gráfico da variação do LOG (Tensão) com o Parâmetro de Larson-Miller (Figura 1d). No caso, os dados se referem à análise feita com o aço 2,25Cr-1Mo focado no presente trabalho, e apresentada detalhadamente na Parte 1 dessa série de artigos.⁽¹⁵⁾

Nesse trabalho, considerou-se uma base de dados bem extensa: 25 ensaios de tração a quente e 67 ensaios de fluência. Os ensaios de tração a quente foram realizados em 5 níveis de temperatura: na faixa de 500 – 700°C e 5 taxas de deformação na faixa de $6,67 \times 10^{-6}$ a $1,33 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$. Os ensaios de fluência foram conduzidos em 9 níveis de temperatura na faixa de 500 – 700°C, com tensões aplicadas na faixa de 34,5 a 448 MPa, produzindo tempos de ruptura na faixa de 0,1 a 1300 h, aproximadamente.

Como ressaltado anteriormente,⁽¹⁵⁾ a correlação dos dados de tração a quente com os de fluência é bastante expressiva, em cada um desses gráficos. Essa compatibilidade pode ser melhor avaliada, observando-se nas Figuras 1a e 1b cada seqüência de dados das duas modalidades de teste em cada seqüência em iso-tensão.

A Figura 1c indica excelente concordância entre as duas modalidades de resultados que concordam também dados com os do trabalho relatado por Viswanathan,⁽¹⁶⁾ em material com tratamento térmico semelhante: normalizado e revenido.

Como o conjunto de dados foi bastante extenso nesse trabalho,⁽¹⁵⁾ foi possível a determinação da constante C de Larson-Miller, pela metodologia correta (convergência das linhas de iso-tensão no eixo-Y do espaço LOG(tr) em função de $1/T$). O valor de C determinado por um procedimento de mínimos quadrados sobre todo o conjunto de dados forneceu $C = 23,6453$. A Figura 1d indica a qualidade de ajuste obtida com um polinômio de 3º grau passando pelos pontos, envolvendo os dois tipos de teste. Pode-se considerar que, nesse gráfico também, o grau de compatibilidade dos resultados de tração a quente com os de fluência é muito expressivo. Na realidade, o método de Larson-Miller não foi o melhor entre quatro que foram utilizados nessa análise. Maiores detalhes sobre esse tipo de investigação podem ser encontrados na trabalho em apreço.⁽¹⁵⁾

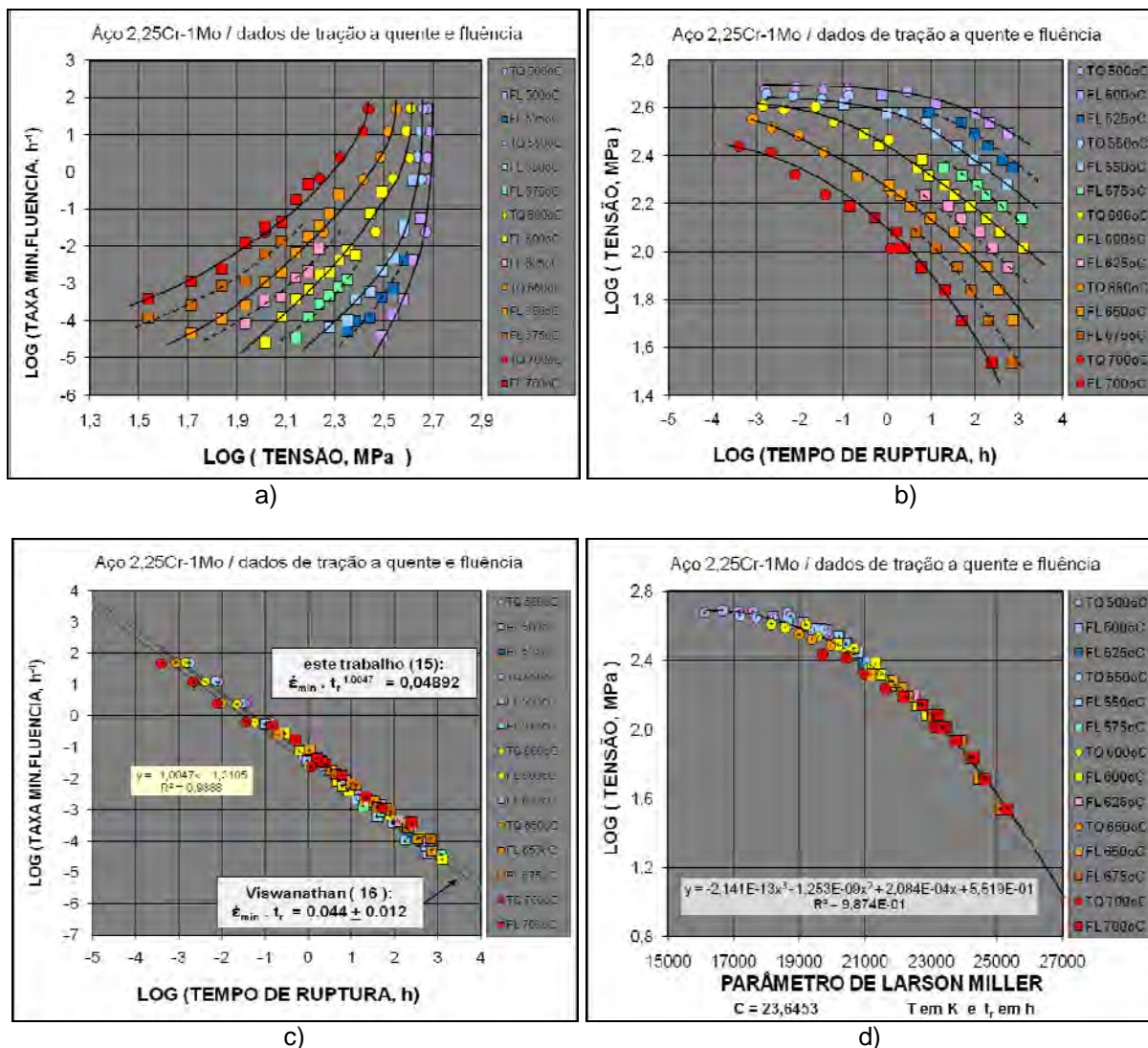


Figura 1 – Gráficos de análise dos resultados envolvendo tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo, como apresentados na Parte 1 deste trabalho:⁽¹⁵⁾ a) Gráfico de Norton; b) gráfico de Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Ruptura; c) Gráfico de Monkman-Grant; d) Gráfico de Larson-Miller.

A Figura 2 apresenta o mesmo conjunto de 4 gráficos mostrados na Figura 1, dessa vez contendo os dados de Klueh e Oakes Junior^(10,11) e Klueh^(13,14) para a versão AN1 do aço 2,25Cr-1Mo. Como mostram as Figuras 2a e 2b, a correspondência entre os dados de tração a quente e os de fluência só pode ser avaliada em 3 níveis de temperatura: 454 – 510 – 566°C, como foi exposto na sessão 2 deste artigo. Observa-se que a compatibilidade entre os dois grupos de dados é bastante satisfatória, em cada um desses níveis de teste em isoterma.

É interessante observar que os dados de tração a quente, referentes às temperaturas de 538°C e 593°C (embora não tendo correspondentes de fluência), percorrem trajetórias que indicam a provável posição dos resultados de fluência nessas temperaturas em total compatibilidade com as curvas vizinhas.

Por outro lado, a Figura 2c indica que todo o conjunto de resultados pode ser ajustado razoavelmente por uma única linha reta, denotando a validade da relação de Monkman-Grant, com um valor de m próximo de 1 ($m = 1,1009$). É bem conhecido o fato de que dados de fluência lançados nesse tipo de gráfico podem

apresentar um grau acentuado de espalhamento. Considerando que dados provindos de testes de natureza diferente estão sendo reunidos em um mesmo gráfico, pode-se considerar que a concordância entre eles é bastante satisfatória, da mesma forma como foi observado na Figura 1c.

A Figura 2d apresenta o resultado da análise de parametrização dos dados pela metodologia de Larson-Miller. Neste caso, não foi possível determinar o valor de C pelo procedimento correto preconizado pela metodologia, uma vez que o conjunto de dados de Klueh e Oakes Junior^(10,11) e Klueh⁽¹²⁻¹⁴⁾ não dispunha de número de testes de fluência com quantidade suficiente, em diferentes condições de iso-tensão, como ocorreu no trabalho descrito na Parte 1 deste trabalho.⁽¹⁵⁾ Quando isso acontece, o que se faz, em geral, é adotar o valor genérico $C=20$, tido como válido para a maioria dos metais, em especial para os aços Cr-Mo,⁽¹⁶⁾ embora se saiba que nem sempre esse recurso possa ser capaz de racionalizar corretamente os resultados. E, realmente, para o presente conjunto de dados de tração a quente com fluência no material AN1 o valor $C=20$ não foi capaz de fazer sobrepor os dados de tração a quente com os de fluência. Variando-se gradativamente o valor de C, no entanto, pôde-se chegar ao melhor valor para que os dados apresentassem um colapsamento adequado, ao longo de uma curva de referência. Isso ocorreu para o valor de $C = 28$. O resultado dessa análise está indicado na Figura 2d, que pode ser considerada como satisfatória. A impossibilidade de expressar resultados de tração a quente com os de fluência pelo método de Larson-Miller com $C=20$, também foi notada para o cobre policristalino comercial puro.⁽⁷⁾ Em geral, quando isso ocorre, outros métodos de parametrização poderão se mostrar superiores ao de Larson-Miller.^(5,7-9)

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, cada uma, seqüencialmente, os mesmos 4 gráficos de análise, constantes das Figuras 1 e 2, dessa vez relativos aos resultados de análise com as versões AN2, IA e NT do aço 2,25Cr-1Mo, respectivamente, reportadas por Klueh e Oakes Junior^(10,11) e Klueh.⁽¹²⁻¹⁴⁾ Inspeccionando-se cada gráfico pode se confirmar, que essencialmente, as mesmas características notadas com relação às Figuras 1 e 2 ficam comprovadas, isto é, observa-se sempre um excelente grau de equivalência entre os dois grupos de resultados, indicando que dados de tração a quente podem ser coadjuvantes bem propícios na análise de resultados de fluência, quando se faz a sua correta transposição de acordo com o critério de equivalência mencionado (1,2). Em todos os casos, nas Figuras 3c, 4c e 5c, observa-se a boa linearidade dos dados, condizentes com a relação Monkman-Grant, com expoente m sempre próximo de 1. No caso das Figuras 3d, 4d e 5d, observa-se igualmente a impossibilidade de bom ajuste aos dados com o valor $C = 20$, ficando um melhor resultado garantido com o valor $C = 28$, nas Figuras 3d e 4d e $C = 32$ na Figura 5d.

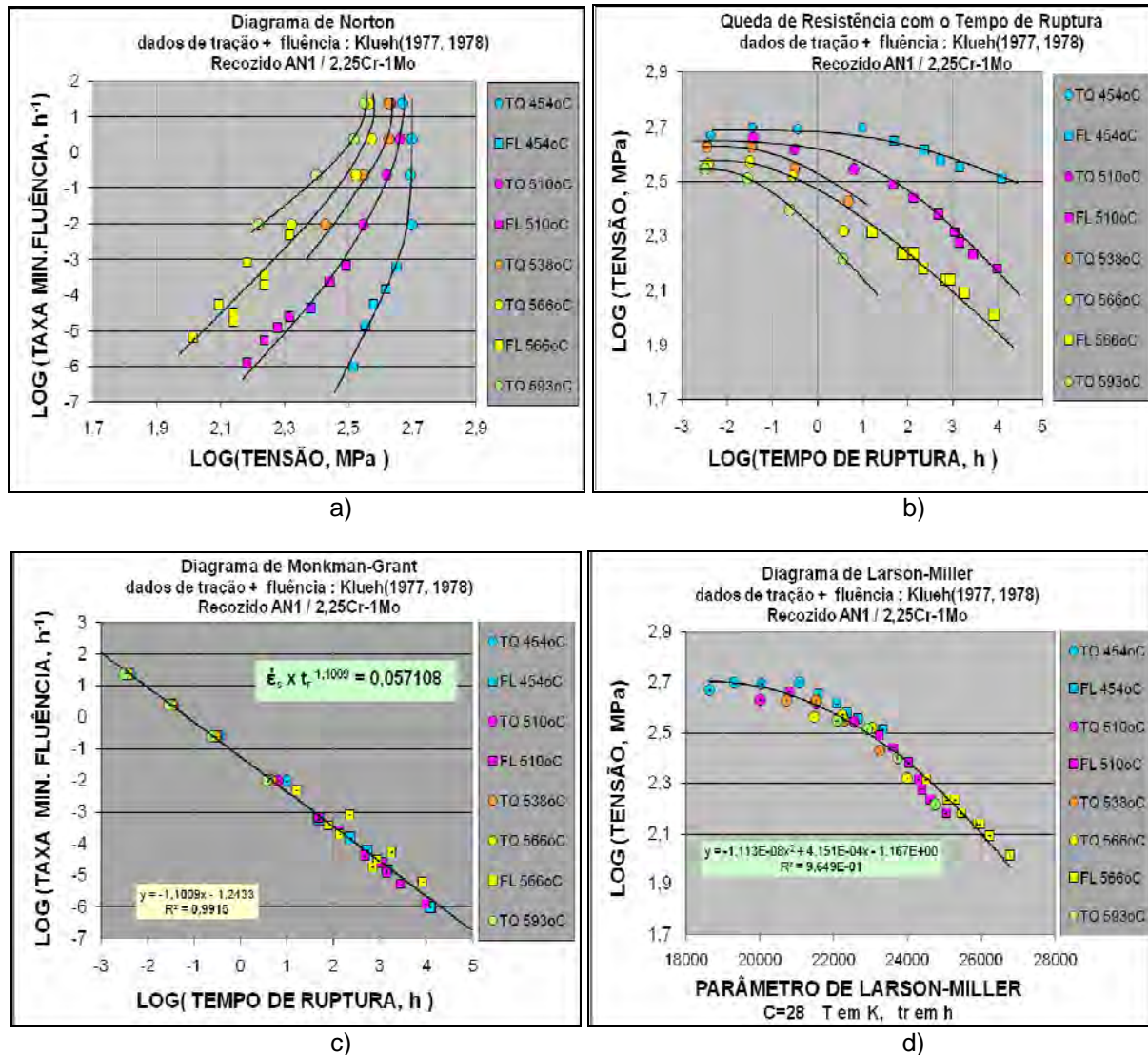


Figura 2 – Gráficos de análise dos resultados envolvendo tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo, com dados de Klueh e Oakes Junior⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ para o material AN1: a) Gráfico de Norton; b) gráfico de Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Ruptura; c) Gráfico de Monkman-Grant; d) Gráfico de Larson-Miller, com C=28.

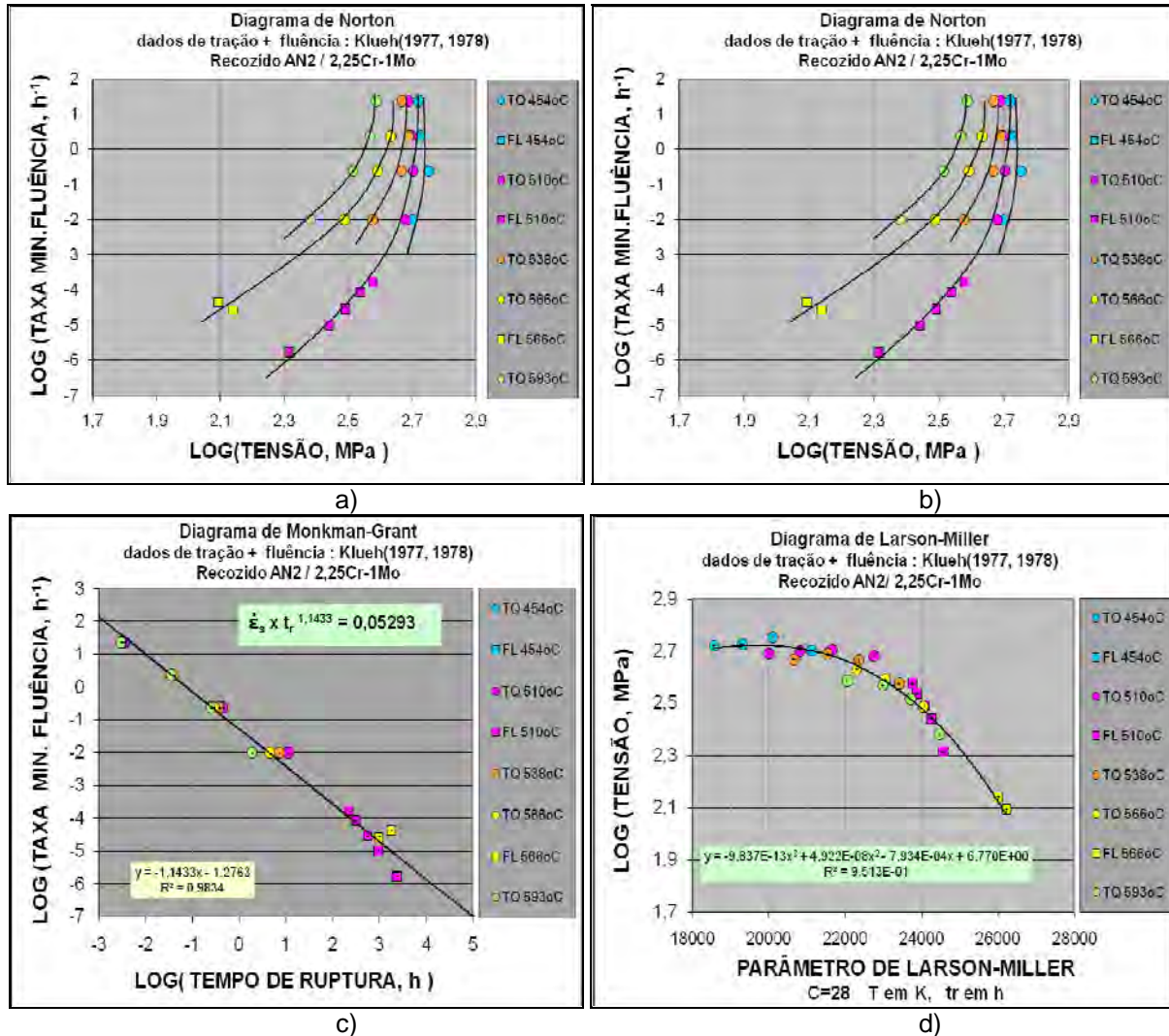


Figura 3 – Gráficos de análise dos resultados envolvendo tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo, com dados de Klueh e Oakes⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ para o material AN2: a) Gráfico de Norton; b) gráfico de Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Rutpura; c) Gráfico de Monkman-Grant; d) Gráfico de Larson-Miller, com C=28.

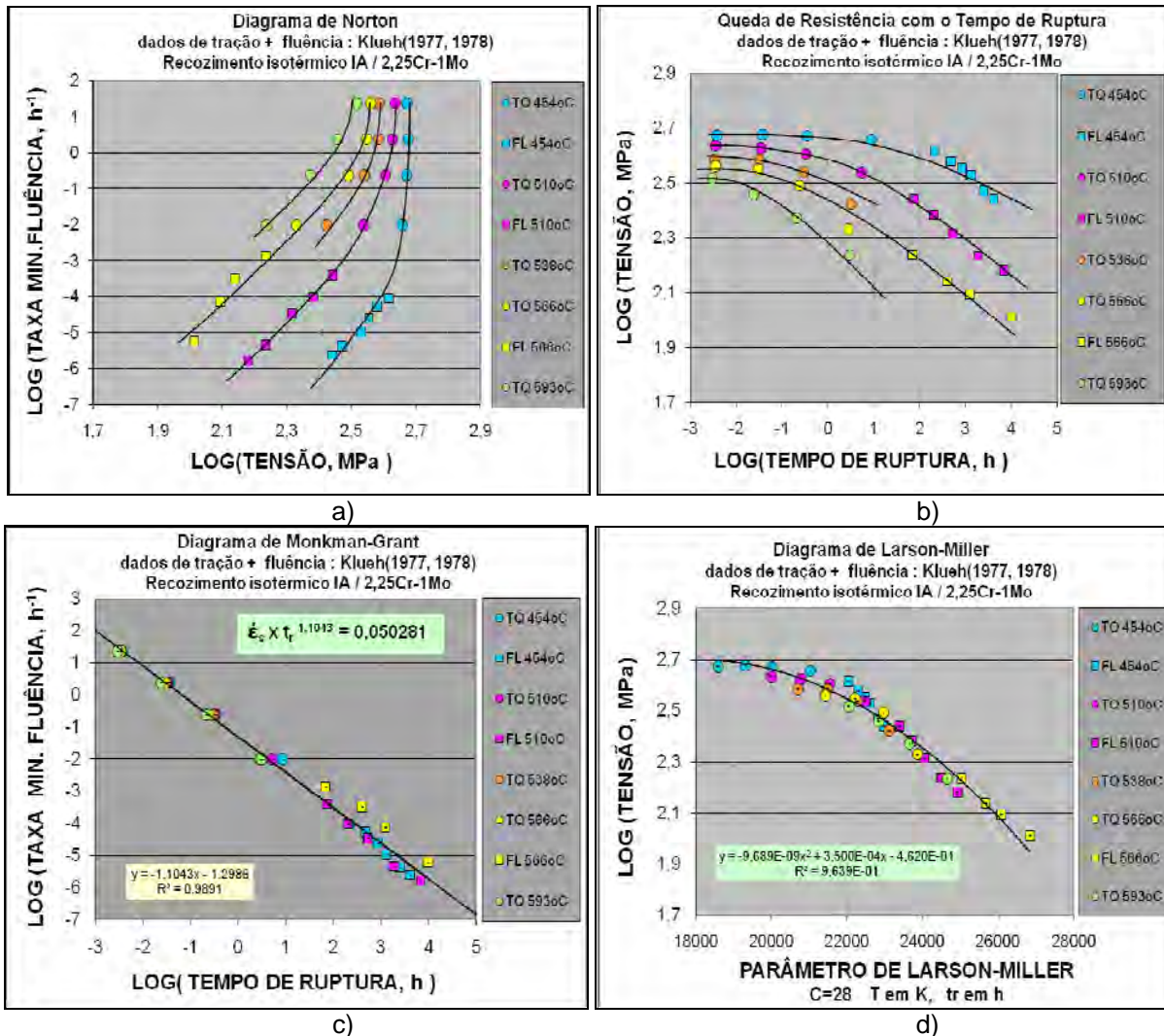


Figura 4 – Gráficos de análise dos resultados envolvendo tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo, com dados de Klueh e Oakes Junior⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ para o material IA: a) Gráfico de Norton; b) gráfico de Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Ruptura; c) Gráfico de Monkman-Grant; d) Gráfico de Larson-Miller, com C=28.

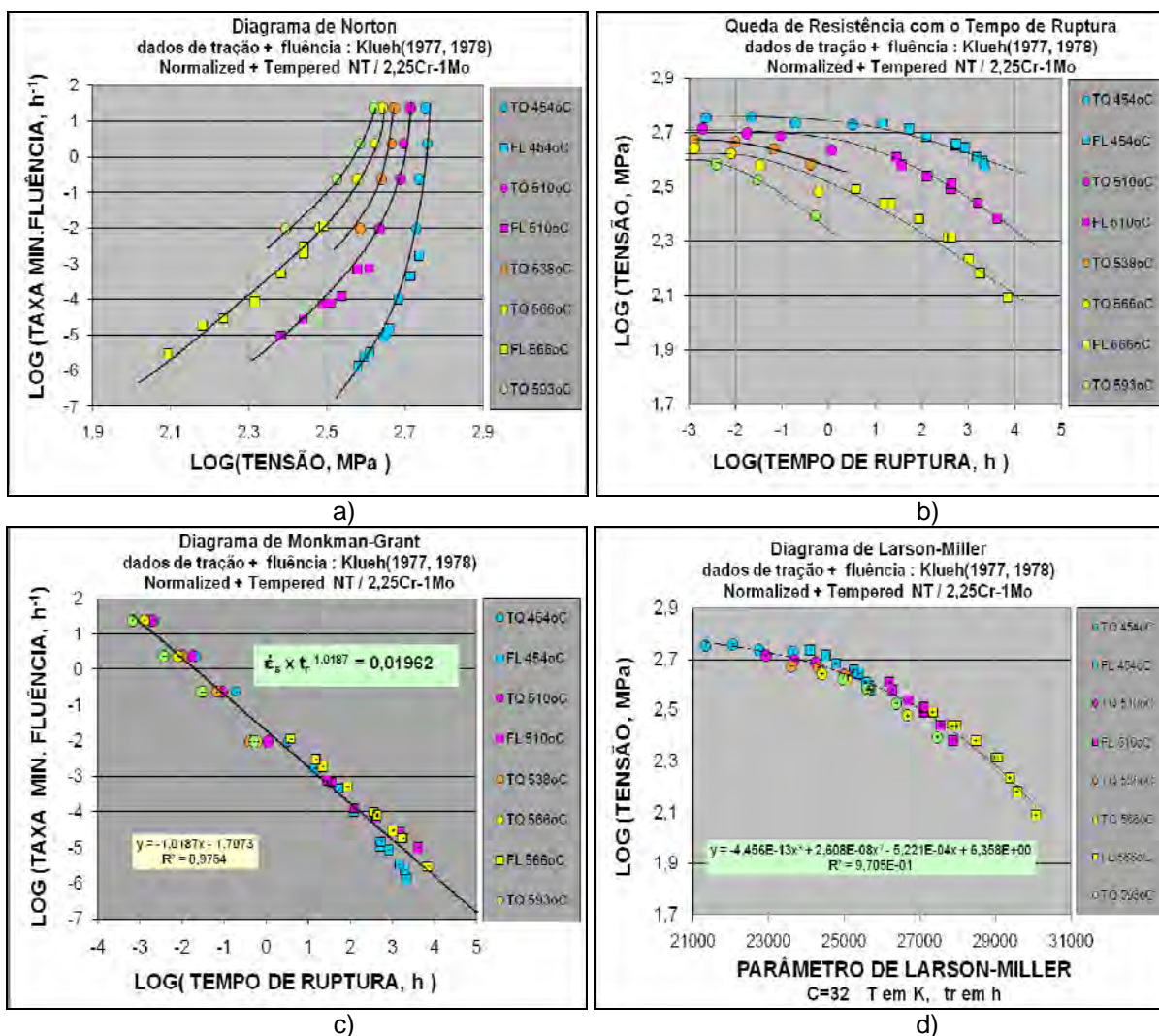


Figura 5 – Gráficos de análise dos resultados envolvendo tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo, com dados de Klueh e Oakes Junior⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ para o material NT: a) Gráfico de Norton; b) gráfico de Queda de Resistência à Fluência com o Tempo de Ruptura; c) Gráfico de Monkman-Grant; d) Gráfico de Larson-Miller, com C=32.

Fazendo-se hipóteses, baseadas em dados da literatura, é possível admitir-se valores da energia de ativação aparente de fluência Q_c para cada uma das versões do aço estudadas por Klueh e Oakes Junior^(10,11) e Klueh.⁽¹²⁻¹⁴⁾ Com isso as curvas de Norton (Figuras 1a, 2a, 3a, 4a) poderão ser parametrizadas pela relação de Zener- Hollomon, da mesma forma como se procedeu no trabalho anterior.⁽¹⁵⁾ Igualmente as curvas de Queda de Resistência com o Tempo de Ruptura (Figuras 2b, 3b, 4b e 5b) poderão ser racionalizadas pelo Parâmetro Combinado envolvendo as relações de Zener-Hollomon e de Monkman-Grant.⁽¹⁵⁾

Um trabalho desse tipo, envolvendo uma análise mais aprofundada com os dados de cada uma das versões do aço 2,25Cr-1Mo de Klueh e Oakes Junior^(10,11) e Klueh,⁽¹²⁻¹⁴⁾ comparada com a análise apresentada no trabalho anterior⁽¹⁵⁾ deverá ser assunto de futura publicação.

É importante ressaltar, no entanto, que, embora os trabalhos de correlação entre dados de tração a quente e fluência venham apresentando bons resultados, até aqui, com diversos materiais e dados de diferentes procedências, não se pode concluir apressadamente que resultados de ensaios de tração a quente poderão então substituir resultados de fluência na análise do comportamento de metais e

ligas metálicas para uso em tempo prolongado em altas temperaturas. Na realidade, ensaios de tração a quente são equivalentes a ensaios de fluência de tempo curto e nada mais. Difícilmente se poderiam realizar ensaios de tração por durações maiores que 100 horas, por exemplo, uma vez que eles teriam que ser conduzidos em velocidades baixíssimas, para competir com os de fluência, ficando o resultado bastante comprometido pela instabilidade nas medidas de deformação em um trem de carga (na máquina de tração) com restrições de movimento em suas extremidades. Nesse sentido, os ensaios de fluência, por contarem com liberdade de movimento no eixo de tração (na máquina de fluência), teriam muito menos instabilidade e forneceriam resultados muito mais confiáveis. Portanto, dados de longa duração, de confiança, continuarão a ser sempre fornecidos pelos testes de fluência e não pelos de tração.

Em todo o caso, dados de tração a quente, quando convertidos para a modalidade de “fluência” poderão ser, sem dúvida, ótimos coadjuvantes para complementar o *lado esquerdo* de gráficos como os de Monkman-Grant, ou da Queda de Resistência com o Tempo de Ruptura, ou os provenientes dos diferentes métodos de parametrização, etc. ou também para complementar o *lado direito* de gráficos como os de Norton, ou de parametrização da Taxa Mínima de Fluência por Zener-Hollomon, etc.⁽¹⁵⁾

No cenário de extrapolação confiável para longos tempos de duração, ou baixas taxas de fluência, no entanto, os interpretes principais continuarão a ser os dados de fluência.

4 CONCLUSÕES

A análise realizada com quatro versões do aço 2,25Cr-1Mo, envolvendo uma extensa bateria de dados de ensaios de tração a quente e fluência proveniente de um renomado laboratório internacional, mostrou resultados consistentes e compatíveis entre si, quando feita a equivalência entre os dois conjuntos de acordo com a metodologia proposta. Quatro importantes gráficos de análise do comportamento de fluência nos metais foram empregados nessa inspeção, e os resultados positivos alcançados vêm corroborar para a validação da metodologia de equivalência proposta para se fazer a transposição entre os tipos de dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa STM-Sistemas de Teste em Materiais Ltda. pela preparação e ensaios nos corpos de prova de fluência e ao Sr. Flávio A.S.Serra da Replan/Petrobrás pela doação do material utilizado na pesquisa. A engenheira Noeli Bragalda dos Santos agradece as facilidades concedidas pela secretaria do PPG/CEM do DEMa/UFSCar durante o seu programa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- 1 BUENO, L.O. – Creep Behaviour of 2.25Cr-1Mo Steel - An equivalence between hot tensile and creep testing data. ECCC Creep Conference, 12-14 Setembro 2005, Londres – Proc. Creep & Fracture in High Temperature Components – Design and Life Assessment Issues – Editores: I.A.Shibli, S.R.Holdsworth, G.Merckling. DEStech Publ., USA., 2005, p.969-980.
- 2 BUENO, L.O.A simple criterion for converting hot tensile data to creep data and vice-versa.Proc.8th.International Colloquium on Ageing of Materials and Methods for the

- Assessment of Lifetimes of Engineering Plant. Gordon's Bay, South Africa, 7–11 March 2005. Emas Publishing Ltd., p.103-117, 2005.
- 3 REIS SOBRINHO, J.F. Tese de doutorado: Correlação entre os Comportamentos de Tração a Quente e Fluência do Aço 2,25Cr-1Mo na Faixa de Temperatura de 500°C a 700°C. PPG/CEM, UFSCar, 2004.
 - 4 BUENO, L.O. and REIS SOBRINHO, J.F., Correlation Between Creep and Hot Tensile Behavior for 2.25Cr-1Mo Steel from 500°C to 700°C. Part 1: An Assessment According to usual Relations Involving Stress, Temperature, Strain Rate and Rupture Time, Revista Materia, v. 10, n. 3, pp. 463 – 471, 2012.
 - 5 REIS SOBRINHO, J.F.; BUENO, L.O. Correlation Between Creep and Hot Tensile Behaviour for 2.25Cr-1Mo Steel from 500°C to 700°C. Part 2: An Assessment According to usual Relations Involving Stress, Temperature, Strain Rate and Rupture Time. Revista Matéria, v. 10, n. 3, pp. 463 – 471, 2005.
 - 6 SANTOS, N.B. Dissertação de Mestrado: Avaliação de um critério de equivalência entre dados de tração a quente e fluência em aços. PPG/CEM, UFSCar, 2007.
 - 7 DIAS, C.R.F.; BUENO, L.O. Correlação Tração a Quente e Fluência para o Cobre Comercial Puro. Parte 1: Relações entre Tensão, Taxa de Deformação, Tempo de Ruptura e Temperatura. In: *Anais do 65º Congresso Anual da ABM*, in CDROM, p. 1246-1255, Rio de Janeiro, July 2010.
 - 8 BUENO, L.O. Dados de Tração a Quente e Fluência no Alumínio Comercial Puro: Parte 1: Relações entre Tensão, Taxa de Deformação, Tempo de ruptura e Temperatura. Anais do Seminário de Metais Não Ferrosos ABM 2011, São Paulo, in CD ROM.
 - 9 BUENO, L.O. Tração a Quente e Fluência no Latão Comercial. Parte 1: Relações entre Tensão, Taxa de Deformação, Tempo de Ruptura e Temperatura. Anais do Seminário de Metais Não Ferrosos ABM 2011, São Paulo, in CD ROM.
 - 10 KLUEH, R.L. and OAKES Jr., R.E. High Strain Rate Properties of Annealed 2.25Cr-1Mo steel. Journal of Eng. Materials and Technology, v.98, 361-368, 1976.
 - 11 KLUEH, R.L. and OAKES Jr., R.E. Strain Rate Effects on the Elevated Temperature Behavior of a Bainitic 2 ¼ Cr -1 Mo Steel. Trans. ASME- Journal of Eng. Materials and Technology, v.99, p. 350-358, 1977.
 - 12 KLUEH, R.L. Heat Treatments Effects on the Tensile Properties of Annealed 2.25Cr-1Mo steel. Journal of Nuclear Materials, v.68, p.294-307, 1977.
 - 13 KLUEH, R.L. Heat Treatment Effects on Creep and Creep Rupture Behavior of Annealed 2.25Cr-1Mo Steel. Metall.Transactions A, v. 9A, p.1591-1598, 1978.
 - 14 KLUEH, R.L. Creep and Creep Rupture Behavior of a Bainitic 2 ¼ Cr-1Mo Steel. Int. Journal Pres. Vessel and Piping, v. 8, p.165-185, 1980.
 - 15 DOS SANTOS, N.; REIS SOBRINHO, J.F.; BUENO, L.O. Equivalência entre dados de tração a quente e fluência no aço 2,25Cr-1Mo. Parte 1 – Ampliação da base de dados na faixa de 500 a 700°C. A ser apresentado no 68º Congresso da ABM, Belo Horizonte (MG), Julho/Agosto 2013.
 - 16 VISWANATHAN, R. Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components, ASM International, Palo Alto, CA, USA, 1993.