

DADOS DE TRAÇÃO A QUENTE E FLUÊNCIA NO ALUMÍNIO COMERCIAL PURO. PARTE 2: APLICAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE PARAMETRIZAÇÃO¹

Levi de Oliveira Bueno²

Resumo

Investigou-se a possibilidade de parametrização de dados de tração a quente juntamente com dados de fluência, no alumínio comercial puro, procurando-se validar para diversos materiais um critério de equivalência proposto recentemente para análise conjunta de resultados dessas duas modalidades de teste. Os dados foram analisados segundo quatro diferentes métodos comumente citados na literatura tradicional de parametrização e dados de fluência. Observou-se boa compatibilidade dos resultados de Tração a Quente com os de Fluência quando analisados pelos métodos de: *Larson-Miller*, *Orr-Sherby-Dorn*, *Manson-Succop* e *Manson-Haferd*, com possibilidade de se utilizar ambas modalidades de resultados em conjunto em procedimentos de extrapolação. Para o alumínio comercial, nas presentes condições de teste, o método que apresentou melhor desempenho foi o de *Orr-Sherby-Dorn*. Empregando-se a relação de *Monkman-Grant* é possível realizar-se também a parametrização dos dados de taxa de deformação, segundo os 4 métodos acima mencionados, envolvendo tanto os dados de Tração a quente como os de Fluência.

Palavras-chave: Tração a quente; Fluência; Alumínio comercial puro; Parametrização; Extrapolação.

HOT TENSILE AND CREEP TESTING DATA IN COMMERCIALLY PURE ALUMINUM. PART 1: CORRELATION AMONG STRESS, STRAIN RATE, RUPTURE TIME AND TEMPERATURE.

Abstract

The possibility of parameterization of hot tensile data together with creep data was investigated, for commercially pure copper, in an attempt to validate for various materials a recent criterion that proposes an equivalence between both kinds of tests. Four different parameterization methods were considered, which are commonly mentioned in the traditional literature for data extrapolation. The hot tensile data shows good compatibility with creep data when the analysis are performed by the Larson-Miller, Orr-Sherby-Dorn, Manson-Succop and Manson-Haferd procedures, indicating excellent possibility of using both kind of data together in extrapolation procedures. For commercial aluminium, under the present testing conditions, the Orr-Sherby-Dorn methodology produced the best performance. By using the Monkman-Grant relation in these analysis it is possible to parameterize all the strain rate data in the same way, according to the mentioned methodologies, involving both the hot tensile and creep data.

Key words: Hot tensile test; Creep test; Commercially pure copper; Parameterization; Data extrapolation.

¹ Contribuição técnica ao 12º Seminário de Metais Não-ferrosos, 31 de outubro a 1 de novembro de 2011, São Paulo, SP.

² PhD em Engenharia Materiais. Professor Associado do DEMa / UFSCar.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Este artigo representa uma continuação do trabalho de análise de resultados apresentados em sua Parte 1,⁽¹⁾ também neste Seminário, investigando agora a possibilidade de correlação entre os dados de Tração a Quente com os de ruptura por Fluência no alumínio comercial puro, utilizando o critério de equivalência entre esses dois tipos de teste, proposto por Bueno.⁽²⁾

No presente trabalho, explora-se a possibilidade de parametrização conjunta dos dados, segundo diferentes procedimentos de análise, dentre as técnicas tradicionais mais importantes mencionadas na literatura.

A maneira de se aplicar o critério na conversão de dados de Tração a Quente para Fluência está apresentada com mais detalhes na Parte 1 deste trabalho.⁽¹⁾

1.2 Objetivo

O objetivo é verificar se também é possível estabelecer uma correlação entre os resultados destes dois tipos de ensaio para o alumínio comercial puro, visando extrapolação dos resultados por diferentes metodologias. Esta correlação foi verificada com sucesso em diferentes tipos de aço, como reportada em trabalhos anteriores,^(3,4) e também para um material não ferroso: o cobre comercial puro.⁽⁵⁾

Dentre as várias possibilidades citadas na literatura, foram escolhidos apenas 4 métodos, que são considerados em geral como os mais importantes, a saber, os métodos de: Larson-Miller, Orr-Sherby-Dorn, Manson-Succop e Manson-Haferd.

1.3 Revisão da Literatura

1.3.1 Métodos de parametrização

Existe uma série de procedimentos de parametrização que utilizam equações relacionando a temperatura e o tempo de ruptura para análise de dados de fluência. A definição dos parâmetros se baseia na linearidade e padrão de disposição dos pontos de iso-tensão em gráficos de LOG (Tempo de Ruptura) versus Temperatura ou LOG (Tempo de Ruptura) versus o Inverso da Temperatura. Os diferentes métodos surgem pelas hipóteses de paralelismo ou convergência dessas linhas de iso-tensão, nesses gráficos.

De acordo com Viswanathan⁽⁶⁾ os métodos de parametrização mais utilizados, e que se foram considerados neste trabalho, estão esquematizados na Figura 1.

Cada método de parametrização possui uma expressão correspondente a seu parâmetro, a saber:

- método de Larson-Miller $P = T(C + \text{LOG } t_r)$
- método de Orr-Sherby-Dorn $P = \text{LOG } t_r - A/T$
- método de Manson-Haferd $P = (\text{LOG } t_r - \text{LOG}t_r^*) / (T - T^*)$
- método de Manson-Succop $P = \text{LOG } t_r - B.T$

Onde t_r = tempo ruptura (em h); T = temperatura (em K); $A, B, C, \text{LOG}t_r^*$ e T^* são as constantes de cada método. Os métodos de Larson-Miller e Manson-Haferd consideram *convergência*, enquanto que os métodos de Orr-Sherby-Dorn e Manson-

Succop consideram *paralelismo* das linhas de iso-tensão, respectivamente nos espaços $\text{LOG } t_r \times 1/T$ e $\text{LOG } t_r \times T$, como mostram os diagramas da Figura 1.

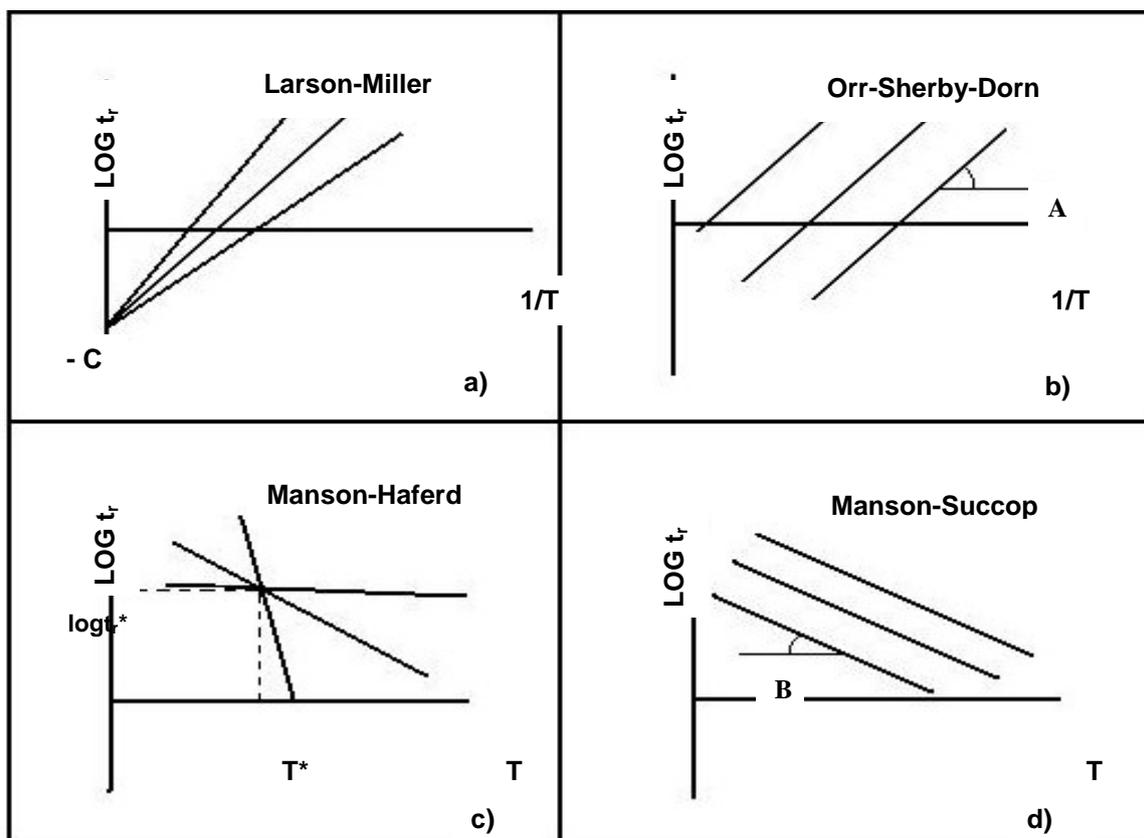


Figura 1. Métodos de parametrização, (a) Larson-Miller; (b) Orr-Sherby-Dorn; (c) Manson-Haferd; e (d) Manson-Succop.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho é o mesmo apresentado no artigo da Parte 1⁽¹⁾ deste Seminário, ou seja, trata-se do alumínio policristalino, comercialmente puro, recebido na forma de barra com 1/2", extrudada, com estrutura de grãos alongados pelo processamento. O material foi recozido a 400°C por uma hora, com resfriamento rápido ao ar, sofrendo recristalização e crescimento de grão, exibindo finalmente estrutura granular equiaxial, com tamanho médio de grão $D \approx 100 \mu\text{m}$. A resistência a tração foi testada à temperatura ambiente depois deste tratamento, com o seguinte resultado: $\sigma_{0,2} = 76,2 \text{ MPa}$, $\text{LRT} = 135,2 \text{ MPa}$, $\text{Ar} = 27\%$, $\text{RA} = 75\%$. Dessa forma, o material foi considerado adequado para ser submetido aos ensaios de tração a quente e de fluência.

Os corpos de prova utilizados tanto nos ensaios de tração como nos de fluência possuíam as mesmas medidas, sendo de formato cilíndrico com rosca nas extremidades tipo M12x1,75 e dimensões nominais: $d_0 = 6,25 \text{ mm}$ e $L_0 = 25 \text{ mm}$, na parte útil.

2.1 Ensaios de Tração

Estes ensaios foram realizados nas temperaturas de 150°C, 200°C, 250°C, 300°C e 350°C utilizando as velocidades de tração: 0,01 mm/min – 0,5 mm/min – 20 mm/min

que se mantiveram constantes do início ao fim do teste, perfazendo um total de 15 ensaios. O equipamento utilizado foi uma máquina marca TIME modelo WDW-100, com um forno elétrico tubular adaptado à máquina. Tanto para o controle da temperatura do forno, como para a medida da temperatura do corpo de prova foram utilizados termopares tipo Chromel-Alumel, sendo um colocado junto às resistências do aparelho, e o outro na superfície do corpo de prova, respectivamente.

2.2 Ensaios de Fluência

Os ensaios de fluência foram realizados na modalidade carga constante, com tensão variando de 12,5 MPa a 65 MPa e temperaturas variando na sequência: 150°C – 175°C – 200°C – 225°C – 250°C – 275°C – 300°C – 325°C – 350°C. Empregou-se um conjunto de cerca de 10 máquinas marca STM modelo MF-1000. O sistema de extensometria nos corpos de prova utilizou sensores tipo LVDT associado a uma armazenadora automática de dados marca Fluke (Data Logger).

As medidas da variação do alongamento em função do tempo foram armazenadas em intervalos de tempo que variaram de aproximadamente 5 minutos a 30 minutos, sendo que, este período dependia das previsões de duração de cada ensaio.

Um total de 18 ensaios de fluência foram realizados nesta investigação.

3 RESULTADOS

Por conveniência, neste trabalho, os dados de t_{LRT} e t_f serão apresentados com a mesma denominação simples t = tempo, de forma que quando se trata de tração a quente: $t = t_{LRT}$, e quando se trata de fluência: $t = t_f$. Da mesma maneira, será feita referência apenas à tensão σ , e à taxa de deformação $\dot{\epsilon}$, que significarão o LRT e a taxa de deformação dos ensaios de tração a quente e a tensão taxa mínima de deformação dos ensaios de fluência, respectivamente.

A Figura 2 apresenta os dados de Queda de Resistência com o Tempo para os dados de Tração a Quente e os de Fluência, nos cinco níveis principais de temperatura investigados: 150°C–200°C–250°C–300°C–350°C. No caso das temperaturas de 175°C–225°C–275°C que apresentam apenas um ponto experimental de fluência, as linhas pontilhadas indicam suas prováveis curvas tomando-se por base a tendência comum dos dados nas temperaturas vizinhas. O objetivo principal deste trabalho será, portanto, determinar as curvas de parametrização mais adequadas aos dados da Figura 1.

As Tabelas 1 e 2 mostram os dados de Tração a Quente e Fluência, respectivamente, com os valores dos parâmetros de cada método que deram origem aos gráficos de parametrização que serão discutidos no presente artigo.

Nessas tabelas, as siglas PLM, POSD, PMH e PMS correspondem respectivamente aos parâmetros de Larson-Miller, Orr-Sherby-Dorn, Manson-Haferd e Manson-Succop, calculados a partir das constantes que foram determinadas a partir de cada metodologia, segundo os esquemas de análise mencionados na Sessão 1.3 deste trabalho, ou seja, mediante a inspeção do comportamento das linhas de iso-tensão nos planos LOG (t_f) x 1/T e LOG (t_f) x T.

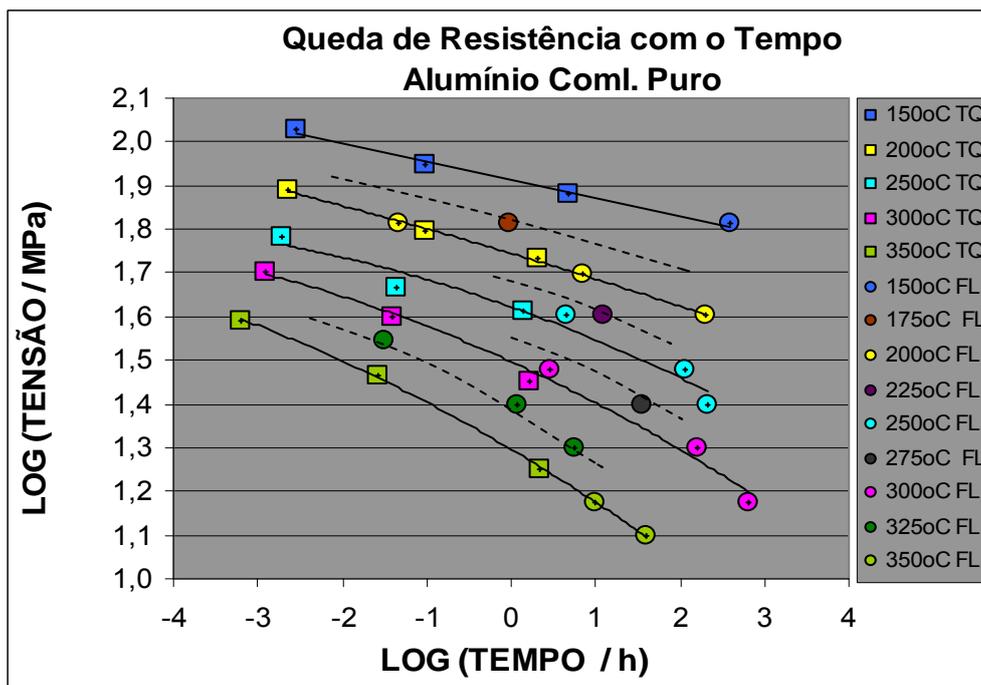


Figura 2. Queda de resistência com o tempo para os dados de fluência juntamente com os de tração a quente.

Tabela 1. Dados de Tração a Quente organizados em séries de iso-temperatura

CP N°	T(°C)	LRT (MPa)	t _{LRT} (h)	PLM	POSD	PMH	PMS
T14	150	106,51	0,02959	7756	-30,099	-0,065	14,452
T15	150	88,66	0,02463	8407	-28,562	-0,061	15,990
T16	150	75,76	0,02104	9123	-26,868	-0,057	17,683
T02	200	77,59	0,02155	8631	-27,275	-0,058	16,373
T04	200	62,795	0,01744	9396	-25,659	-0,055	17,989
T12	200	53,91	0,01498	10026	-24,327	-0,052	19,321
T05	250	60,58	0,01683	9496	-25,011	-0,053	18,290
T03	250	46,3	0,01286	10204	-23,656	-0,050	19,645
T13	250	41,1	0,01142	10996	-22,142	-0,047	21,159
T06	300	50,5	0,01403	10303	-23,241	-0,048	20,124
T07	300	39,65	0,01101	11153	-21,758	-0,046	21,607
T11	300	28,4	0,00789	12082	-20,136	-0,043	23,230
T08	350	39,11	0,01086	11017	-21,905	-0,045	21,837
T09	350	29,11	0,00809	12030	-20,279	-0,042	23,463
T10	350	17,76	0,00493	13227	-18,359	-0,039	25,383

Tabela 2. Dados de Fluência organizados em séries de iso-tensão

CP N°	T(°C)	σ (MPa)	t_r (h)	PLM	POSD	PMH	PMS
F06	350	12,5	40,46	14009	-17,102	-0,037	26,639
F13	350	15	9,79	13625	-17,719	-0,038	26,023
F11	300	15	654,98	13578	-17,526	-0,038	25,839
F14	325	20	5,74	12940	-18,733	-0,040	24,787
F05	300	20	159,74	13227	-18,139	-0,040	25,227
F12	325	25	1,17	12527	-19,423	-0,041	24,096
F18	275	25	34,66	12286	-19,730	-0,043	23,558
F10	250	25	216,34	12142	-19,952	-0,043	23,349
F09	300	30	2,86	12226	-19,886	-0,043	23,480
F04	250	30	114,31	11997	-20,229	-0,044	23,072
F17	325	35	0,031	11584	-21,000	-0,044	22,519
F03	200	40	197,35	10962	-22,347	-0,048	21,300
F16	225	40	12,57	10946	-22,306	-0,048	21,109
F08	250	40	4,56	11265	-21,628	-0,046	21,673
F02	200	50	7,07	10278	-23,793	-0,051	19,855
F01	150	65	388,40	9928	-24,966	-0,053	19,585
F15	175	65	0,93	9340	-26,049	-0,056	17,969
F07	200	65	0,05	9244	-25,980	-0,055	17,668

As Figuras 3 e 4 mostram o padrão de disposição das 6 linhas de iso-tensão nos planos $\text{LOG}(t_r) \times 1/T$ e $\text{LOG}(t_r) \times T$, respectivamente. Esses gráficos contêm apenas os dados de fluência, já que se torna impossível obter linhas de iso-tensão com os dados de tração a quente.

A maneira correta de se calcular as constantes envolvidas em cada metodologia é por um procedimento de mínimos quadrados, como o recomendado por Manson e Mendelsohn.⁽⁷⁾ A análise baseada apenas na inspeção visual das linhas de iso-tensão, ou mesmo no uso de seus valores de inclinação e intersecção não é apropriado. O método de Manson-Mendelsohn⁽⁷⁾ estabelece uma série de algoritmos que fazem uma ponderação entre as linhas com maior e menor quantidade de dados. Mesmo as linhas com dois pontos podem ser consideradas, prevalecendo no final o cálculo da tendência mais provável para paralelismo ou convergência, de acordo com cada método de extrapolação. No caso da verificação do método de Manson-Haferd, notou-se que o foco das linhas de iso-tensão fica bem próximo do eixo Y [$\text{LOG}(t_r)$]. Portanto, nesse caso, tomou-se o valor de $T^* = 0$.

Nota-se nas Figuras 3 e 4 que três linhas de iso-tensão (25 MPa – 40 MPa – 65 MPa) apresentam 3 pontos experimentais e três linhas (15 MPa – 20 MPa – 30 MPa) apenas dois pontos experimentais cada uma. Pelos pontos isolados (12,5 MPa – 35 MPa – 50 MPa) foram traçadas linhas pontilhadas com inclinações hipotéticas, próximas às dos dados vizinhos. O ideal seria a realização de uma quantidade bem maior de ensaios de fluência (principalmente com mais altas durações), de modo a se ter cerca de 4 a 6 pontos em cada linha de iso-tensão, para uma maior representatividade estatística. Com o presente conjunto de dados, no entanto, foi possível se ter uma boa noção do comportamento do material, no sentido da validação da equivalência entre os dados de Tração a Quente e Fluência.

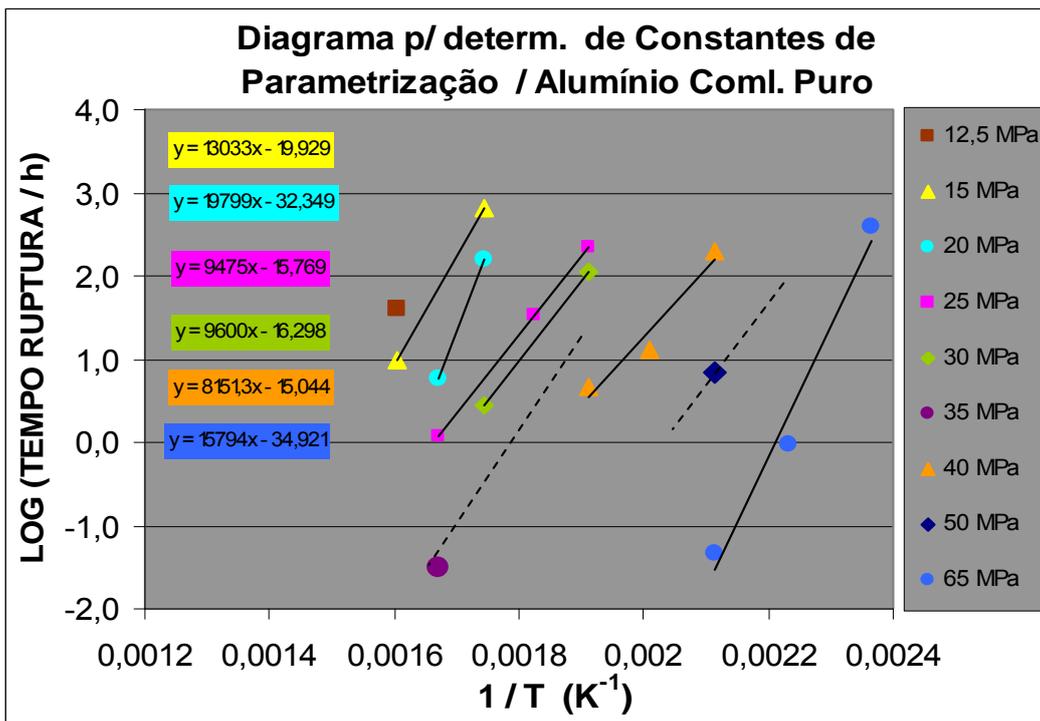


Figura 3. Linhas de Iso-Tensão no espaço: LOG (Tempo de Ruptura) com o Inverso da Temperatura, para determinação das constantes pelos métodos de Larson-Miller e Orr-Sherby-Dorn.

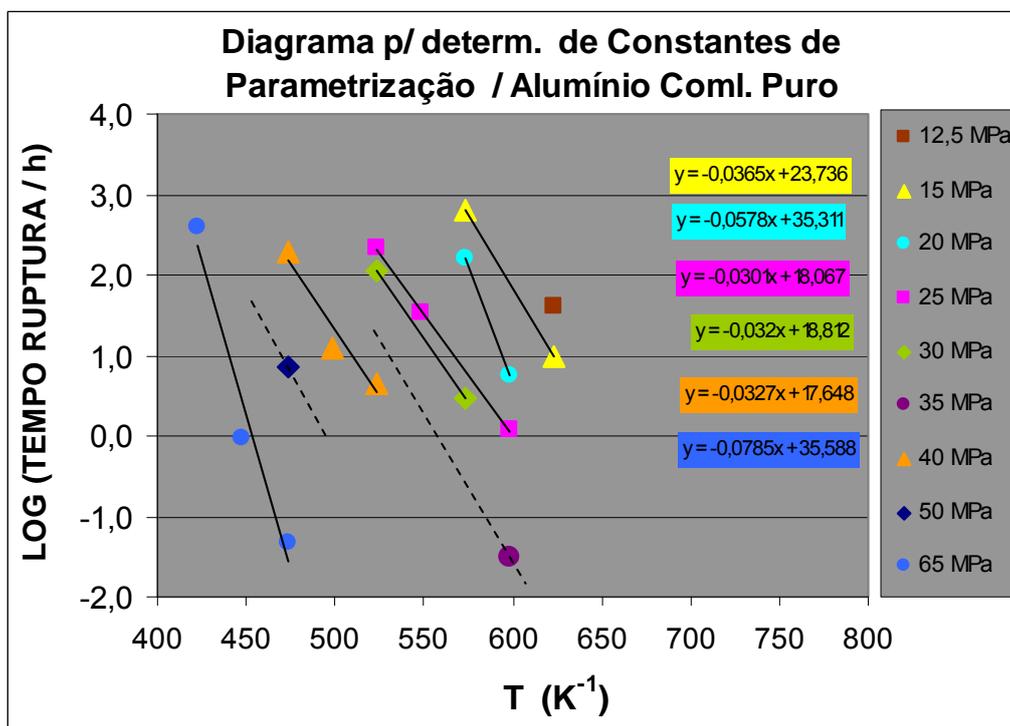


Figura 4. Linhas de Iso-Tensão no espaço: LOG (Tempo de Ruptura) com a Temperatura, para determinação das constantes pelos métodos de Manson-Haferd e Manson-Succop.

Com a determinação das várias constantes, foram obtidas as curvas de referência, segundo cada método.

A Figura 5 corresponde à parametrização dos dados apresentados na Figura 2, segundo o método de Larson-Miller. Essa figura corresponde à utilização da constante $C = 20,88$, que expressa o ponto focal do conjunto de linhas de iso-tensão

no eixo Y. Observa-se que tanto os dados de tração a quente como os de fluência ficam satisfatoriamente parametrizados, ao longo de uma única curva, no caso ajustada por um polinômio de 3º grau, com um alto coeficiente de correlação $R^2 = 0,99002$. Dessa forma, a metodologia Larson-Miller com valor $C=20,88$ mostra-se bastante eficaz para parametrizar os dados do alumínio comercial puro. Esse valor de C é bastante próximo do valor $C=20$ generalizadamente empregado no uso da metodologia de Larson-Miller para dados de fluência nos materiais metálicos em geral.

A Figura 6 apresenta a qualidade de parametrização empregando-se o método de Orr-Sherby-Dorn. A constante encontrada foi $A = 11656$, que corresponde ao paralelismo médio das linhas de iso-tensão na Figura 3. A racionalização dos dois conjuntos de dados neste caso é melhor que no caso anterior, com o polinômio de 3º grau ajustado exibindo um valor $R^2 = 0,99158$.

A Figura 7 foi elaborada a partir do método de Manson-Haferd. Como mencionado anteriormente, o valor de T^* foi considerado como zero. O cálculo da intersecção média com o eixo Y apresentou um valor $LOGt_r^* = 24,86$. Observa-se que a capacidade de racionalização de ambos os conjuntos de dados por este método foi satisfatória, exibindo um grau de ajuste: $R^2 = 0,98584$.

A Figura 8 apresenta o resultado de parametrização pelo método de Manson-Succop. A constante desse método foi tomada como $B = - 0,04018$, que corresponde ao paralelismo comum das linhas de iso-tensão na Figura 4. A qualidade de ajuste para ambos os conjuntos de dados ($R^2 = 0,98617$) também parece satisfatória, semelhante à obtida com o método de Manson-Haferd.

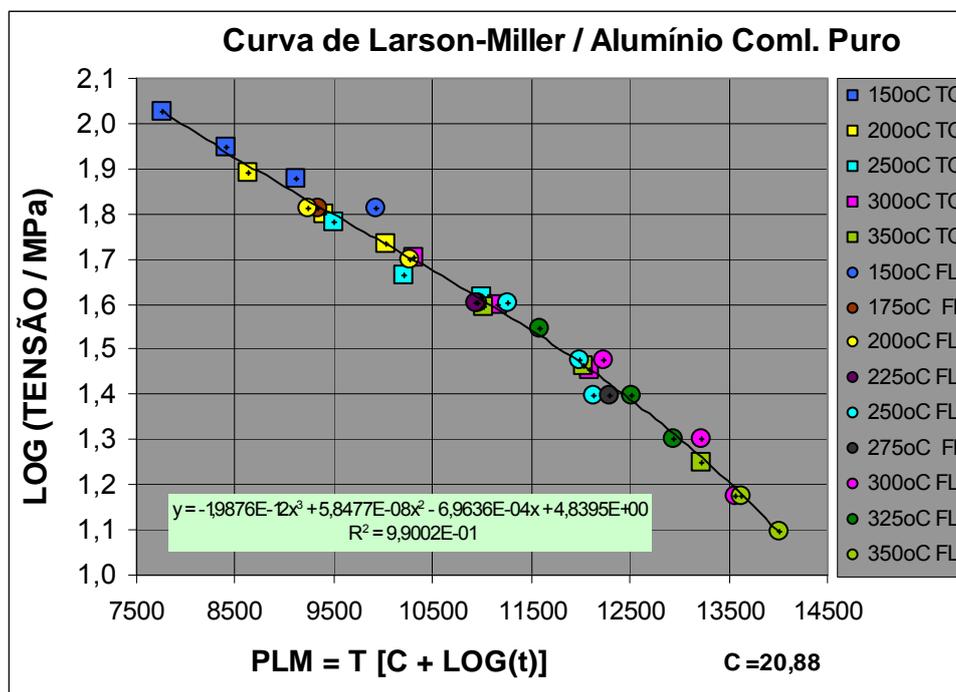


Figura 5. Curva paramétrica de Larson-Miller.

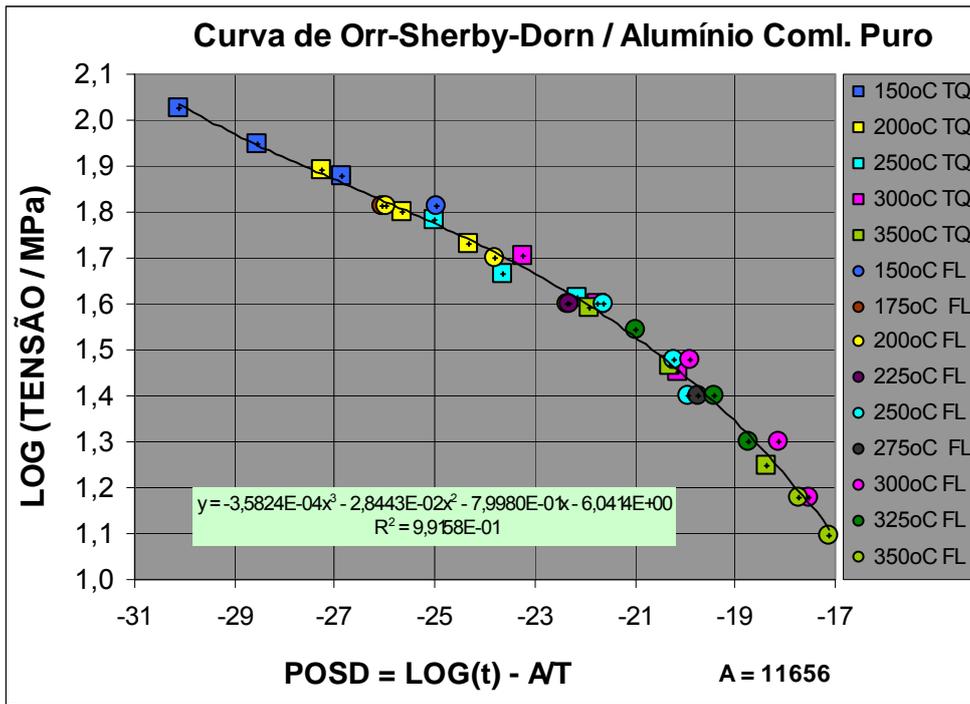


Figura 6. Curva paramétrica de Orr-Sherby-Dorn.

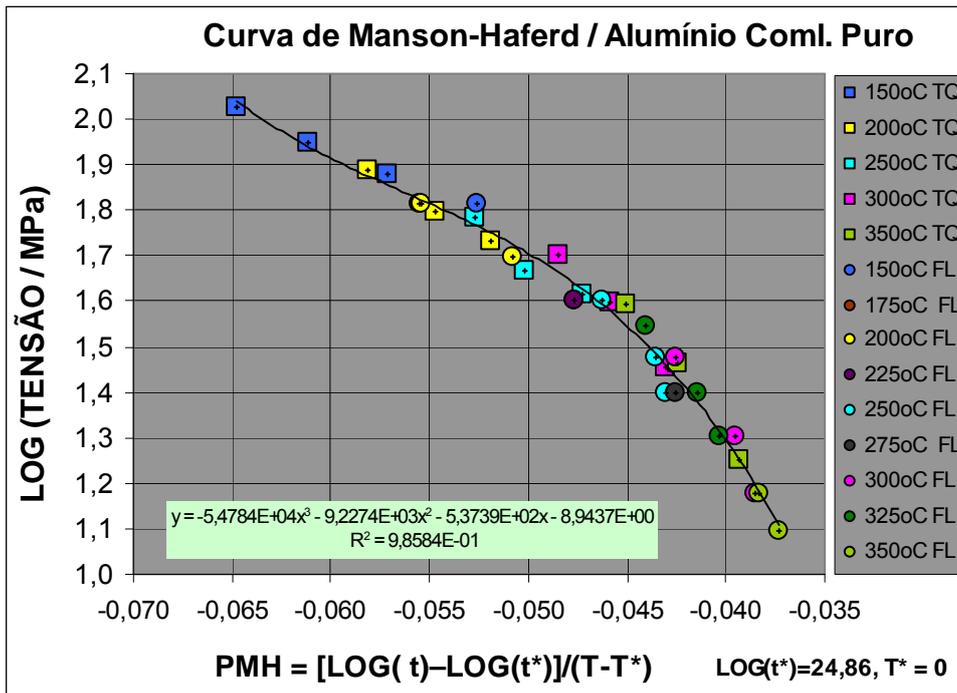


Figura 7. Curva paramétrica de Manson-Haferd.

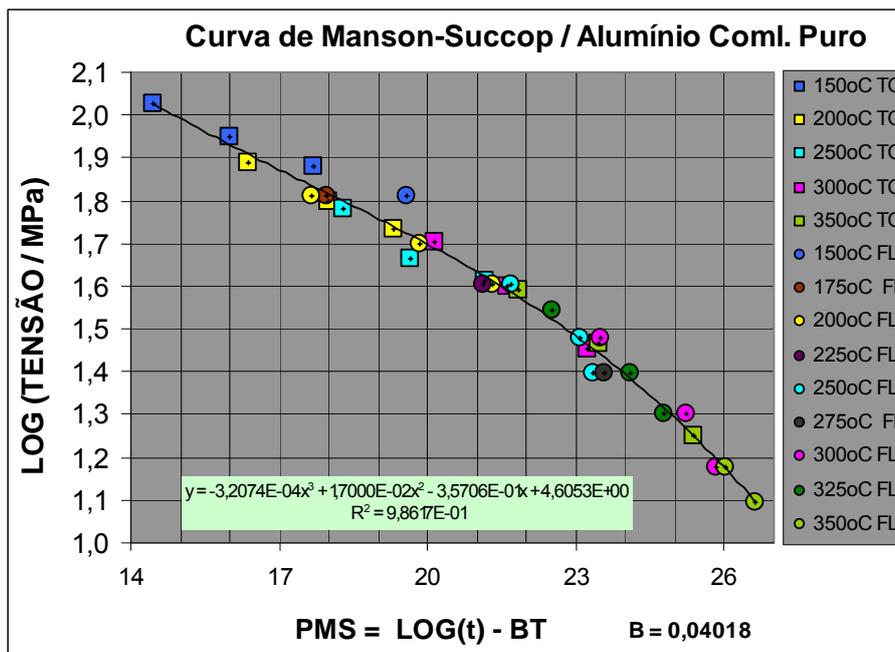


Figura 8. Curva paramétrica de Manson-Succop.

4 DISCUSSÃO

O gráfico da Queda de Resistência com o Tempo mostrado na Figura 2 indica ótima concordância entre os dados de Tração a Quente e os dados de Fluência em todos os níveis de temperatura. A disposição relativa entre cada série de dados com a variação da temperatura mostra-se também notável consistência. Este é um resultado bem importante, pois evidencia que os dados de Tração a Quente são totalmente compatíveis com os de ruptura por Fluência para o alumínio comercialmente puro.

Na Parte 1 deste trabalho⁽¹⁾ comprovou-se que essa compatibilidade ocorre para os dados obtidos basicamente no estágio secundário de fluência, que envolvem os valores de Taxa de Deformação. Com o presente trabalho, a compatibilidade notada entre os dados de tração a quente e os dados de Tempo de Ruptura em Fluência indica que a correspondência entre os dois tipos de teste se dá também durante o estágio terciário de fluência.

De modo geral, todas as quatro metodologias de parametrização mostraram boa compatibilidade entre os dois grupos de testes, indicando consistência para seu uso futuro em técnicas de extrapolação de dados. Os métodos de Orr-sherby-Dorn apresentou os melhores resultados, seguido de perto pelo método de Larson-Miller. Em terceiro e quarto lugar aparecem os métodos de Manson-Haferd e Manson-Succop que se mostraram razoavelmente satisfatórios, produzindo apenas uma um grau de dispersão um pouco maior entre os dados nas diversas temperaturas.

O método de Orr-Sherby-Dorn, por produzir os melhores resultados entre os quatro investigados, seria o preferido com a atual base de dados. A Figura 9 apresenta um teste da capacidade preditiva desta metodologia na previsão dos dados de tempo em Tração a Quente e Fluência gerados neste trabalho. Observa-se que tanto os grupos de dados de Tração a Quente como o de Fluência, em cada nível de temperatura, apresentam-se com um grau mínimo de dispersão, podendo a capacidade preditiva baseada neste procedimento ser considerada excelente. A Figura 9 mostra inclusive o comportamento que seria esperado nas temperaturas de

125°C e de 375°C, ou seja, 25°C abaixo e acima do intervalo estudado, respectivamente. A previsão se extrapola até 10.000 horas que poderia ser utilizada com relativa segurança, tendo em vista a base de dados experimentais que se prolongou até quase 1000 horas.

Considerando que na Parte 1 deste trabalho,⁽¹⁾ foi determinada uma boa correlação entre os dados de Taxa de Deformação e Tempo, na forma da relação de Monkman-Grant: $\dot{\epsilon} \times t_r^{1,0474} = 5,0828$, é interessante se investigar também a possibilidade de parametrização dos dados de Taxa de Deformação com as metodologias empregadas normalmente para Tempo de Rutpura em Fluência. Dessa forma, fazendo-se uso da parametrização pelo método de Orr-Sherby-Dorn, combinada com a relação de Monkman-Grant, foi possível o levantamento da curva paramétrica para as Taxas de Deformação, mostrada na Figura 10. Nota-se que o grau de ajuste de um polinômio de 3º grau aos dados ($R^2 = 0,9921$) e também altamente satisfatório.

A Figura 11 apresenta também o teste da capacidade preditiva dessa metodologia na previsão da Taxas de Deformação de Tração a Quente e Fluência geradas neste trabalho. Observa-se que os resultados são bastante satisfatórios, com desvios da previsão mais ou menos semelhantes aos da Figura 9. Nota-se que penas o ponto referente ao ensaio de fluência a 150°C com 65 MPa, apresentou um valor de taxa mínima de fluência abaixo do esperado, como apontado na Parte 1 deste trabalho.⁽¹⁾ Percebe-se que a metodologia combinada Orr-Sherby-Dorn / Monkman-Grant prevê um decaimento gradual do valor do expoente de tensão n com a tensão, na relação de Norton, em cada nível de temperatura, em vez de simples linhas retas ajustadas aos dados de fluência, como se supõe em geral. Esse tipo de comportamento está em plena concordância com a metodologia de análise do comportamento de fluência dos materiais metálicos por Projeção-Theta de Evans e Wilshire.⁽⁸⁾

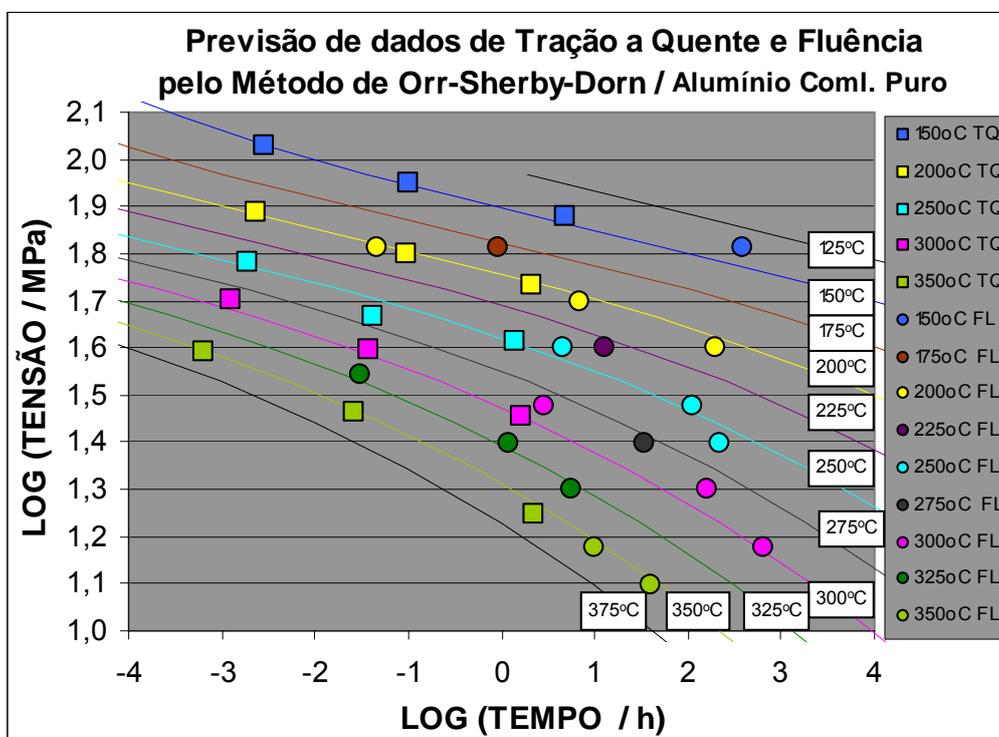


Figura 9. Teste da eficiência do Parâmetro de Orr-Sherby-Dorn em prever os dados de Tempo (t_{LRT} em Tração a Quente e t_r em Fluência).

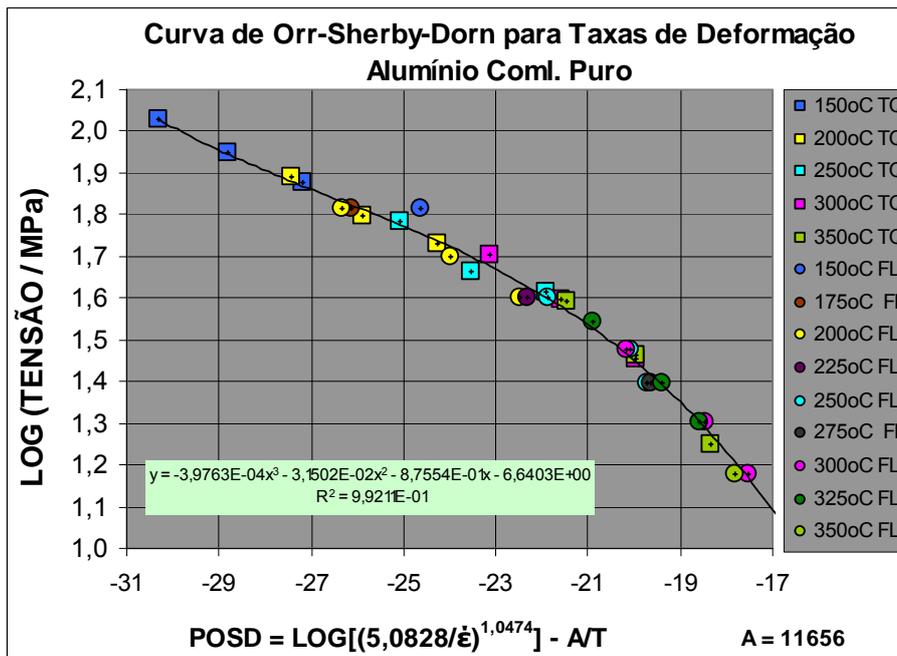


Figura 10. Curva paramétrica pelo método de Orr-Sherby-Dorn combinado com a relação de Monkman-Grant para Taxas de Deformação.

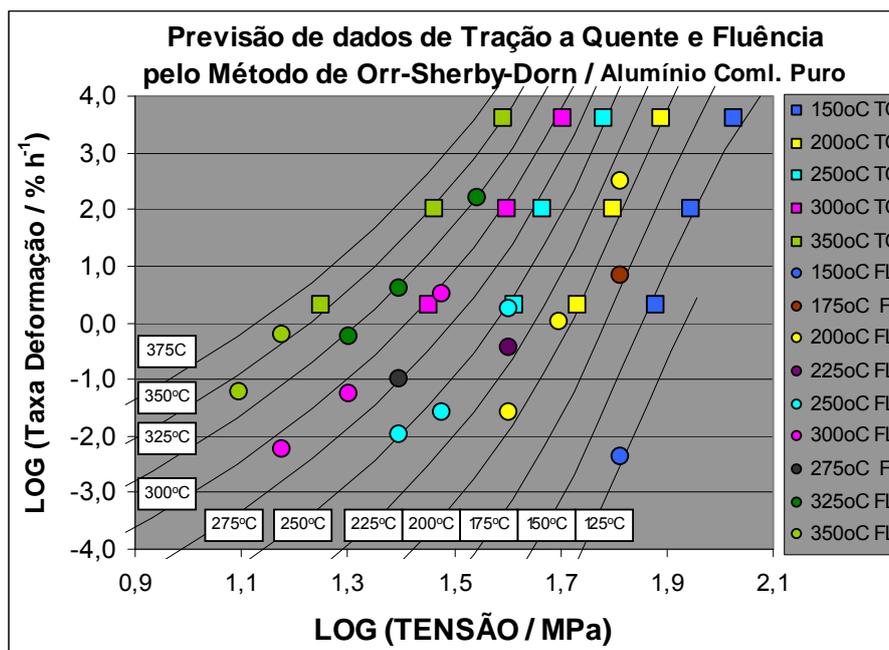


Figura 11. Teste da eficiência do Parâmetro de Orr-Sherby-Dorn combinado com a relação de Monkman-Grant em prever os dados de Taxa de Deformação em Tração a Quente e Fluência.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu a contento o objetivo traçado inicialmente que foi o de tentar encontrar uma correlação satisfatória para os dados de Tração a Quente e os dados de Fluência, aplicando-se o critério de equivalência proposto anteriormente,⁽¹⁾ para análise conjunta de ambos os tipos de resultado no caso do alumínio comercial puro. Trabalhos anteriores já haviam mostrado a eficiência desse critério na conversão de dados de Tração a Quente para Fluência para um aço ferrítico, um inoxidável austenítico⁽¹⁻⁴⁾ e para o cobre comercial puro.⁽⁵⁾ Este trabalho aponta para

a possibilidade de se utilizar com sucesso o critério a fim de se estabelecer esse tipo de equivalência entre Tração a Quente e Fluência, em esquemas de parametrização de dados, também para os materiais não-ferrosos.

Agradecimentos

O autor agradece à empresa STM-Sistemas de Teste em Materiais Ltda pelo apoio financeiro recebido na obtenção do material, sua usinagem, e realização dos testes de tração a quente e fluência e ao DEMa/UFSCar UFSCar pelas facilidades utilizadas durante o processamento e análise dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 BUENO, L.O. Correlação Tração a Quente e Fluência para o Alumínio Comercial Puro. Parte 1: Relações entre Tensão, Taxa de Deformação, Tempo de Ruptura e Temperatura. 12º Seminário de Metais Não Ferros da ABM, São Paulo, 31/10-01/11 de 2011.
- 2 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.
- 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 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.
- 5 BUENO, L.O; DIAS, C.R.F. Equivalência entre dados de Tração a Quente e Fluência para o Cobre Comercial Puro. Parte 2: Análise por Diferentes Metodologias de Parametrização. Tecnol. Metal. Mater. Miner., vol.8, no.2, p.80-85, abr-jun 2011.
- 6 VISWANATHAN. R. Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperature Components. ASM International, Metals Park , Ohio, 1993.
- 7 MANSON, S.S.; MENDELSON, A. Optimization of parametric constants for creep-rupture data by means of least-squares. NASA memorandum, n.3-10-59E, pp.1-34, 1959.
- 8 EVANS, R.W.; WILSHIRE, B. Creep of Metals and Alloys. The Institute of Metals, London, 1985.