

# AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE DEFORMAÇÃO REDUNDANTE DE AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 304 E 420 TREFILADAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS EXPERIMENTAIS<sup>1</sup>

*Elaine Carballo Siqueira Corrêa<sup>2</sup>  
Maria Teresa Paulino Aguiar<sup>3</sup>  
Paulo Roberto Cetlin<sup>4</sup>*

## **Resumo**

Neste trabalho, os coeficientes de deformação redundante dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420 trefilados em um passe foram determinados através de dois procedimentos experimentais: método dos perfis de microdureza e técnica de superposição das curvas tensão-deformação. A trefilação foi conduzida em diversas condições, de forma a possibilitar a obtenção da relação entre o coeficiente de deformação redundante e o parâmetro geométrico  $\Delta$ . Resultados distintos foram observados tanto para os dois metais como para as técnicas utilizadas. Considerando o método de superposição, os aços apresentaram comportamentos opostos, com o primeiro exibindo uma relação crescente entre o coeficiente de deformação redundante e o parâmetro  $\Delta$ , com valores predominantemente positivos, enquanto o segundo apresentou dados negativos e uma relação suavemente decrescente. A técnica dos perfis de microdureza, por outro lado, levou a comportamentos qualitativamente semelhantes entre os dois metais.

**Palavras-chave:** Trefilação; Coeficiente de deformação redundante; Técnica da superposição das curvas tensão-deformação; Método dos perfis de microdureza.

## **THE EVALUATION OF REDUNDANT DEFORMATION FACTOR OF DRAWN AISI 304 E 420 STAINLESS STEEL BARS THROUGH EXPERIMENTAL METHODS**

## **Abstract**

In this work, the redundant deformation factors of the single-pass drawn AISI 304 and 420 stainless steels have been investigated through two experimental procedures: the hardness profile method and the stress-strain curves superposition technique. Drawing was conducted in several conditions, allowing the analysis of the relationship between the redundant deformation factor and the parameter  $\Delta$ . Different results were observed according to the metal and the technique employed in the study. Considering the stress-strain curves superposition technique, the AISI 304 stainless steel developed an increasing relationship between the redundant deformation factor and the parameter  $\Delta$ , with almost all values positive. Opposite behavior was exhibited by the AISI 420 stainless steel. On the other hand, regarding the hardness profile method, the two metals presented similar behaviors.

**Key-words:** Drawing; Redundant deformation factor; Stress-strain curves superposition technique; Hardness profile method.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Dr., Bolsista de Pós- Doutorado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - UFMG, BH - MG. elainecarballo@terra.com.br*

<sup>3</sup> *Dr., Professor do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção - UFMG, BH - MG.*

<sup>4</sup> *Dr., Professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, - UFMG, BH - MG.*

# 1 INTRODUÇÃO

As características da deformação plástica em um processo de conformação mecânica, dentre diversos itens investigados, são um dos aspectos mais importantes a serem analisados, incluindo a avaliação do tipo e da magnitude da mesma nas operações mencionadas.

Para o caso da trefilação de barras, em adição à deformação externa ou geométrica  $\varepsilon$  no processo de fabricação, destaca-se a ocorrência da deformação redundante, resultado de uma espécie de cisalhamento interno, que em nada contribui para as alterações dimensionais da peça, afetando, entretanto, a operação propriamente dita e o comportamento subsequente do metal. Essa parcela da deformação, que em conjunto com  $\varepsilon$  constitui a deformação efetiva, é decrescente da superfície para o centro da barra, podendo levar à ocorrência de perfis de deformação heterogêneos e, conseqüentemente, de distribuição não uniforme de propriedades mecânicas ao longo da seção transversal de materiais trefilados.<sup>(1-4)</sup>

Dentro do estudo da deformação na trefilação, é usual utilizar o chamado coeficiente de deformação redundante  $\phi$ , definido como a relação entre a deformação média  $\varepsilon_m$  e a deformação externa no processo, conforme a equação 1. Este fator costuma ser associado ao parâmetro  $\Delta$ , que envolve as características geométricas da operação, semi-ângulo de fieira  $\alpha$  e redução de área por passe  $r$ , segundo a equação 2.<sup>(1)</sup>

$$\phi = \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{d_i + d_f}{d_i - d_f} \text{ sen } \alpha \quad (2)$$

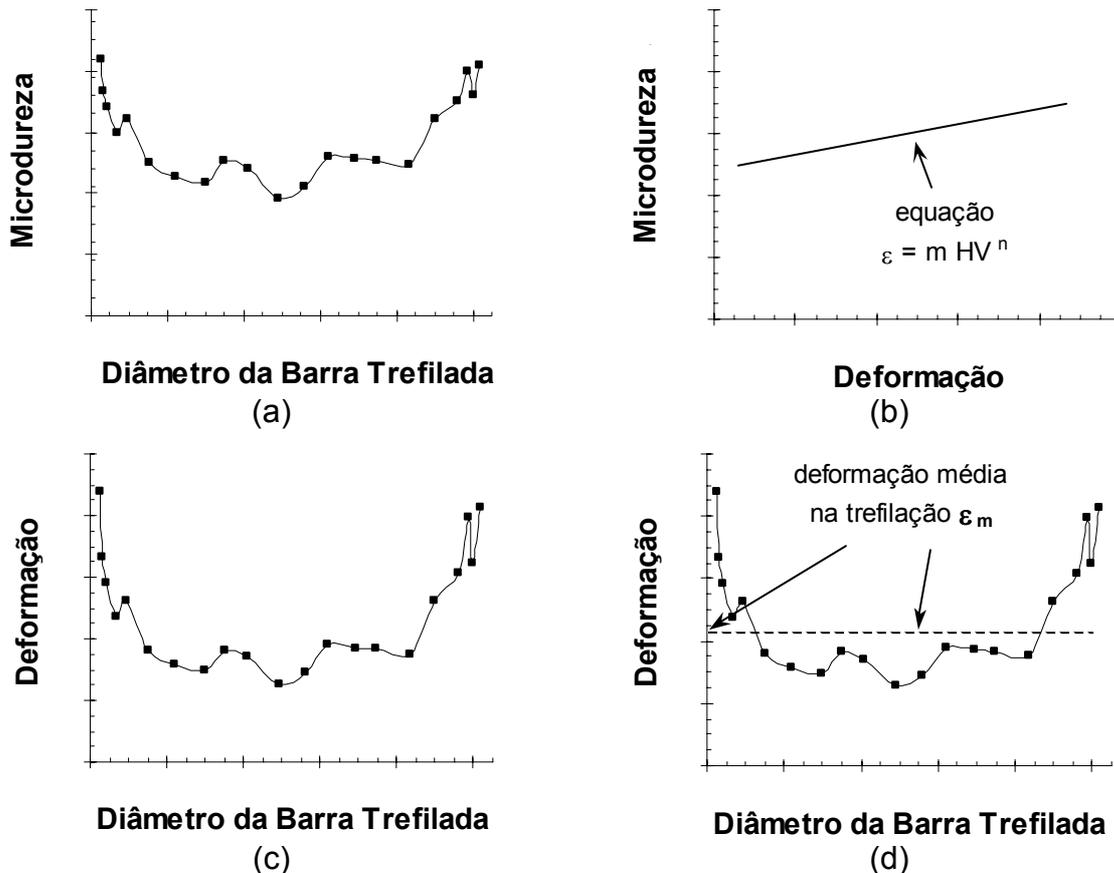
Onde  $d_i$  e  $d_f$  são os diâmetros inicial e final do material, respectivamente.

Diversas técnicas foram propostas para a análise da deformação na trefilação, envolvendo métodos experimentais, numéricos e teóricos.<sup>(1,4,5-13)</sup> São descritos a seguir o método dos perfis de microdureza e a técnica da superposição das curvas tensão-deformação, abordados no presente trabalho para amostras dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420.

## 1.1 Método dos Perfis de Microdureza

A técnica dos perfis de microdureza, procedimento inicialmente apresentado por Backofen,<sup>(6)</sup> possibilita a obtenção da distribuição de deformação ao longo da seção transversal do material trefilado e, posteriormente, o cálculo da deformação média no processo. Na Figura 1 pode ser observada uma representação esquemática da mesma em termos dos resultados obtidos.<sup>(11)</sup> O método é iniciado com a determinação da distribuição de dureza (ou microdureza) ao longo do raio do metal trefilado (Figura 1(a)). Paralelamente, uma equação associando as duas variáveis de interesse (dureza e deformação) é desenvolvida, utilizando os resultados de amostras apenas tracionadas, para as quais é possível calcular a deformação de maneira direta (Figura 1(b)). Em seguida, empregando a referida equação, os dados de microdureza da barra trefilada são transformados em valores de deformação (Figura 1(c)). Por fim, a deformação média na operação é determinada através da

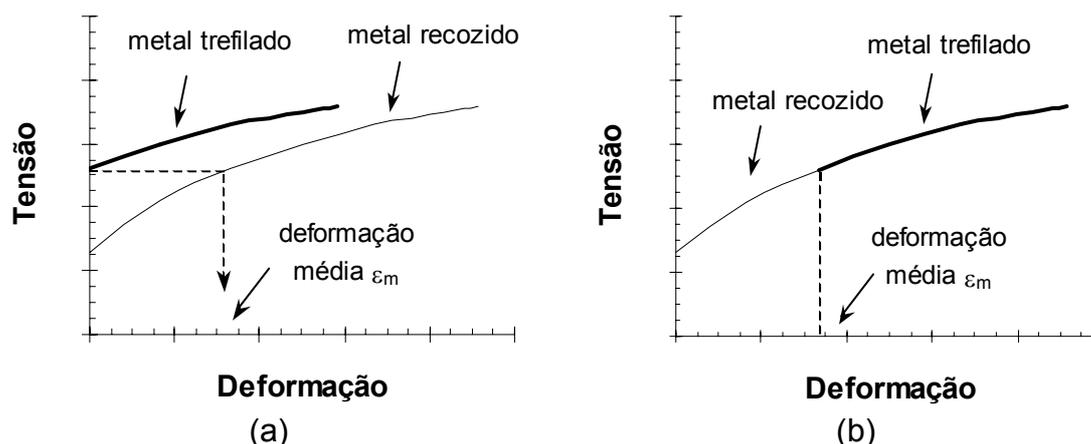
média da seção do perfil ou do parabolóide que descreve a distribuição da mesma no metal (Figura 1(d)).



**Figura 1** – Representação do método dos perfis de microdureza: (a) distribuição de microdureza ao longo da seção transversal do trefilado, (b) equação dureza x deformação obtida através de amostras apenas tracionadas, (c) distribuição de deformação e (d) determinação da deformação média.

## 1.2 Técnica de Superposição das Curvas Tensão-Deformação

A técnica de superposição das curvas tensão-deformação, desenvolvida por Hill e Tupper<sup>(5)</sup> e posteriormente utilizada em outros trabalhos,<sup>(1,9,10)</sup> foi elaborada a partir de uma análise cujo objetivo era a determinação teórica da tensão de trefilação, associada à energia gasta na operação. Através da mesma, o valor da deformação média na operação é obtido de maneira relativamente direta, sem a avaliação prévia da distribuição de deformação ao longo da seção transversal da barra. Na Figura 2 pode ser observada a representação esquemática do método: o limite de escoamento do metal trefilado equivaleria a um valor de tensão na curva tensão-deformação do material recozido cuja deformação corresponderia à deformação média no processo. Dessa forma, a partir da comparação ou superposição das curvas de escoamento obtidas em testes de tração das amostras recozida e trefilada, o valor de  $\epsilon_m$  poderia ser determinado.



**Figura 2** - Representação da técnica de superposição das curvas tensão – deformação: (a) curvas do metal recozido e trefilado e (b) determinação da deformação média.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Foram utilizados dois materiais no trabalho, os aços inoxidáveis AISI 304 e 420. A escolha dos mesmos se deu por serem metais com diferentes características estruturais e, conseqüentemente, de encruamento. O primeiro, aço inoxidável AISI 304, é da classe dos aços inoxidáveis austeníticos, apresentando estrutura cristalina cúbica de faces centradas, com baixa energia de falha de empilhamento. Já o segundo, aço inoxidável AISI 420, apesar de ser originalmente classificado com martensítico, foi utilizado no estado ferrítico, ou seja, exibindo estrutura cristalina cúbica de corpo centrado. Os detalhes de composição química, caracterização e tratamentos térmicos conduzidos podem ser observados em trabalhos apresentados anteriormente.<sup>(14-17)</sup>

### 2.2 Técnica de Superposição das Curvas Tensão-Deformação

Conforme já mencionado, para esta técnica, duas seqüências de experimentos foram necessárias: tração e trefilação seguida de tração. Dessa forma, foram confeccionados para esta abordagem dois tipos de corpos de prova. O primeiro, relativo à tração, apresentou 10 mm e 60 mm de diâmetro e comprimento úteis, respectivamente. O segundo grupo foi preparado com diâmetros e comprimentos úteis variáveis, determinados de acordo com a redução de área a ser empregada, de forma que, após a trefilação, o diâmetro fosse de 10 mm e o comprimento útil a ser considerado na tração subsequente fosse de 40mm. Neste caso, as amostras utilizadas apresentaram uma geometria especial, com o objetivo de evitar a possível ruptura da barra trefilada dentro das garras durante o ensaio. Além do apontamento, regiões com área de seção transversal superior àquela da parte útil do corpo de prova foram empregadas, sofrendo uma maior redução na trefilação e, portanto, ficando mais encruadas, servindo para a fixação da peça à máquina de tração.

A trefilação foi conduzida em uma máquina de ensaios mecânicos Instron modelo 5582 com sistema de controle e aquisição de dados Merlin e um dispositivo especialmente confeccionado para o processo. Todos os experimentos foram realizados em um passe, a uma velocidade de  $1,67 \times 10^{-1}$  mm/s. Seis condições de operação foram avaliadas, envolvendo três semi-ângulos de fieira  $\alpha$  e duas reduções de área  $r$ , conforme a Tabela 1, na qual podem ser observados também a

deformação externa  $\varepsilon$  e o parâmetro  $\Delta$  referentes a cada situação. Por fim, a lubrificação das peças foi conduzida com bissulfeto de molibdênio. Os ensaios de tração também foram realizados em uma máquina Instron 5582, empregando um extensômetro eletrônico modelo 2630-100. A velocidade da mesma foi de  $6,67 \times 10^{-2}$  mm/s em todos os testes, resultando em taxas de deformação iniciais de  $1,1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  (metais recozidos) e  $1,7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  (metais trefilados).

**Tabela 1** - Condições de trefilação empregadas nos experimentos relativos à técnica de superposição das curvas tensão-deformação.

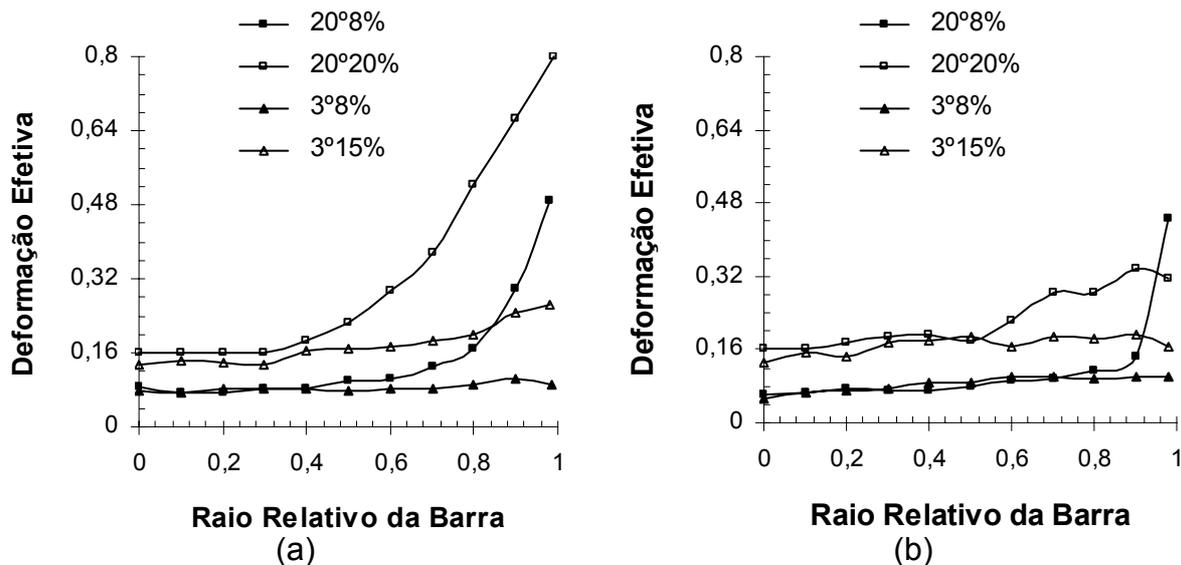
semi-ângulo $\alpha$	redução de área r	deformação $\varepsilon$	parâmetro $\Delta$
20°	8%	0,083	16,75
20°	15%	0,163	8,60
8°	8%	0,083	6,7
8°	15%	0,163	3,44
3°	8%	0,083	2,51
3°	15%	0,163	1,29

### 2.3 Método dos Perfis de Microdureza

Os experimentos associados ao método dos perfis de microdureza não serão detalhados neste trabalho, com exceção das condições de trefilação utilizadas, quatro no total, exibidas na Tabela 2. Os referidos testes e parte dos resultados obtidos para os aços inoxidáveis AISI 304 e 420 através deste método foram apresentados em trabalhos anteriores,<sup>(15,16)</sup> nos quais foi abordada a evolução dos perfis de microdureza de amostras previamente trefiladas durante a tração subsequente, envolvendo ainda a determinação e uma breve análise da distribuição de deformação ao longo da seção transversal das amostras trefiladas. No presente trabalho, foram calculados as deformações médias e os coeficientes de deformação redundante, não investigados anteriormente, e ainda foram elaboradas as relações entre  $\phi$  e o parâmetro  $\Delta$ , possibilitando a comparação entre as duas técnicas experimentais aqui estudadas. Na Figura 3 podem ser observadas as distribuições de deformação efetiva ao longo da seção transversal das amostras dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420.<sup>(15,16)</sup>

**Tabela 2** - Condições de trefilação empregadas nos experimentos relativos ao método dos perfis de microdureza.

semi-ângulo $\alpha$	redução de área r	deformação $\varepsilon$	parâmetro $\Delta$
20°	8%	0,083	16,75
20°	20%	0,223	8,60
3°	8%	0,083	2,51
3°	15%	0,163	1,29



**Figura 3** – Distribuição de deformação ao longo da seção transversal dos metais trefilados - método dos perfis de microdureza: (a) aço inoxidável AISI 304 e (b) aço inoxidável AISI 420.<sup>(15,16)</sup>

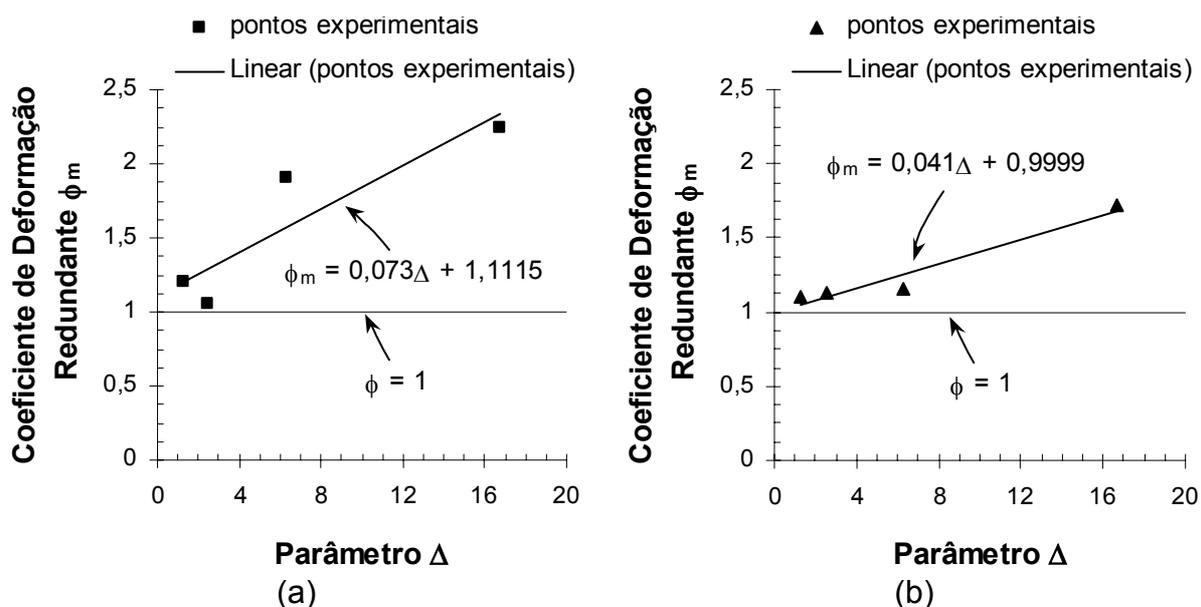
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores de deformação média  $\varepsilon_{mm}$  e os coeficientes de deformação redundante  $\phi_m$  calculados a partir das distribuições de deformação ao longo da seção transversal das barras dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420 obtidas pelo método dos perfis de microdureza (Figura 3). Na figura 4 podem ser observados os dados de  $\phi_m$  associados aos respectivos parâmetros geométricos  $\Delta$ , bem como expressões determinadas através da regressão dos mesmos. Optou-se pelo ajuste linear por ser aquele mais usualmente utilizado na literatura.<sup>(1,2,9-11)</sup>

Ainda que seja constatada uma certa dispersão nos pontos, os dois materiais exibem uma relação monotônica crescente entre o coeficiente de deformação redundante e o parâmetro  $\Delta$ , similarmente ao que é apresentado em outros trabalhos por metais diversos, utilizando tanto o método dos perfis de microdureza como o de superposição das curvas tensão-deformação.<sup>(1,2,9-11)</sup> Neste caso, a diferença observada entre os dois aços é a magnitude da influência dos parâmetros geométricos nos dados. O aço inoxidável AISI 304 é mais sensível a variações no parâmetro  $\Delta$  que o aço inoxidável AISI 420.

**Tabela 3** - Deformação média  $\varepsilon_{mm}$  e coeficiente de deformação redundante  $\phi_m$  dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420 obtidos através do método dos perfis de microdureza.

condição de trefilação	aço inoxidável AISI 304		aço inoxidável AISI 420	
	$\varepsilon_{mm}$	$\phi_m$	$\varepsilon_{mm}$	$\phi_m$
$\alpha = 20^\circ, r = 8\%$	0,186	2,240	0,142	1,716
$\alpha = 20^\circ, r = 20\%$	0,462	1,911	0,259	1,160
$\alpha = 3^\circ, r = 8\%$	0,088	1,054	0,094	1,127
$\alpha = 3^\circ, r = 15\%$	0,195	1,198	0,179	1,098



**Figura 4** – Relação entre o coeficiente de deformação redundante  $\phi_m$  e o parâmetro  $\Delta$  – método dos perfis de microdureza: (a) aço inoxidável AISI 304 e (b) aço inoxidável AISI 420.

Os resultados de deformação média  $\varepsilon_{ms}$  e coeficiente de deformação redundante  $\phi_s$  obtidos através da técnica de superposição das curvas tensão-deformação são mostrados na Tabela 4. Em seguida, é exibida a Figura 5, na qual os valores de  $\phi_s$  são colocados de acordo com o parâmetro geométrico  $\Delta$ , possibilitando, de maneira análoga à Figura 4, a elaboração de equações de primeiro grau  $\phi_s \times \Delta$ .

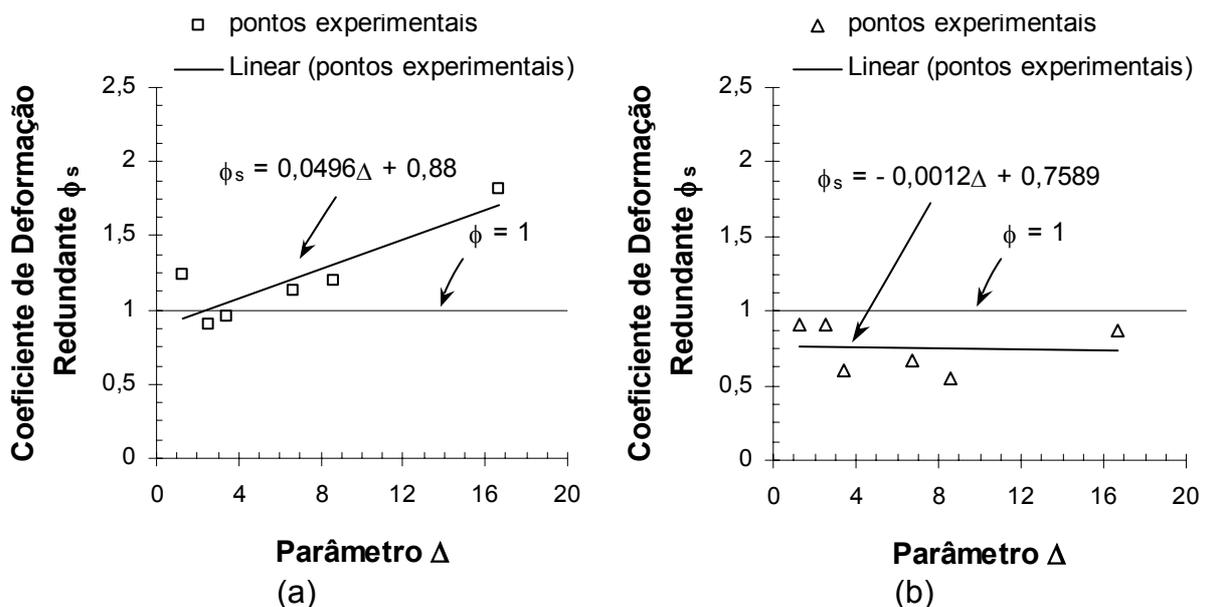
A influência das características estruturais do material e da própria técnica de análise da deformação na trefilação fica evidente ao observar o comportamento dos dois aços. O aço inoxidável AISI 304 apresenta uma relação crescente entre  $\phi_s$  e  $\Delta$ , com valores de  $\phi_s$  levemente inferiores a 1 para  $\Delta$  relativamente baixos. Esses resultados são parcialmente similares àqueles apresentados pelo mesmo metal através do método dos perfis de microdureza, com exceção dos valores de  $\phi_s < 1$ , só que com influência menos pronunciada do parâmetro  $\Delta$  nos dados. Por outro lado, o aço inoxidável AISI 420 exibe uma relação entre o coeficiente de deformação redundante e o parâmetro geométrico levemente decrescente, com o valor de  $\phi_s$  quase constante. Em adição a esse fenômeno não usual, para as seis condições de trefilação conduzidas no trabalho, os valores de  $\phi_s$  são inferiores a 1, como constatado para o aço inoxidável AISI 304 em duas situações. Do ponto de vista físico ou geométrico da operação, a ocorrência de  $\phi$  negativo seria impossível, uma vez que a deformação média na trefilação, composta de duas parcelas (deformação externa e deformação redundante), nunca seria inferior à deformação externa e, portanto, o coeficiente de deformação redundante não poderia ser inferior a 1 (seria, no máximo, igual a 1 para uma situação na qual não houvesse deformação redundante ou que a mesma fosse desprezível).

Os resultados exibidos evidenciam as limitações do uso da técnica de superposição das curvas tensão-deformação na determinação da deformação média na trefilação. Trata-se de um procedimento indireto, no qual a obtenção de  $\varepsilon_m$  é realizada a partir de resultados de testes de tração de peças recozidas e trefiladas, que são superpostos ou comparados. Em outras palavras, o método é baseado no comportamento mecânico subsequente de uma amostra previamente processada, ou seja, na resposta inicial (tensão de escoamento) do material submetido a uma mudança no caminho de deformação de trefilação para tração. Diversos trabalhos

mostraram os efeitos de alterações no caminho de deformação no comportamento ulterior de materiais previamente deformados, abordando especialmente operações associadas ao processamento de chapas e ensaios mecânicos usuais.<sup>(18,19)</sup> Os experimentos revelaram que, dentre outros resultados, as tensões iniciais durante o recarregamento seriam um dos fatores mais afetados. Ao comparar ainda os dados do presente trabalho com aqueles obtidos através de uma outra técnica experimental, a visioelasticidade, considerada aquela que descreve com maior precisão o comportamento de um metal em um processo de conformação, as limitações de utilização dos valores de  $\epsilon_{ms}$  ou  $\phi_s$  são confirmadas.<sup>(14,17)</sup>

**Tabela 4** - Deformação média  $\epsilon_{ms}$  e coeficiente de deformação redundante  $\phi_s$  dos aços inoxidáveis AISI 304 e 420 obtidos através da técnica de superposição das curvas tensão-deformação.

condição de trefilação	aço inoxidável AISI 304		aço inoxidável AISI 420	
	$\epsilon_{ms}$	$\phi_s$	$\epsilon_{ms}$	$\phi_s$
$\alpha = 20^\circ, r = 8\%$	0,151	1,810	0,073	0,880
$\alpha = 20^\circ, r = 15\%$	0,195	1,198	0,088	0,541
$\alpha = 8^\circ, r = 8\%$	0,094	1,128	0,056	0,672
$\alpha = 8^\circ, r = 15\%$	0,156	0,963	0,097	0,599
$\alpha = 3^\circ, r = 8\%$	0,075	0,897	0,076	0,915
$\alpha = 3^\circ, r = 15\%$	0,200	1,228	0,148	0,910



**Figura 5** – Relação entre o coeficiente de deformação redundante  $\phi_s$  e o parâmetro  $\Delta$  – técnica da superposição das curvas tensão-deformação: (a) aço inoxidável AISI 304 e (b) aço inoxidável AISI 420.

Por fim, voltando ao método dos perfis de microdureza, ainda que um comportamento qualitativamente mais coerente que aquele apresentado pela técnica de superposição das curvas tensão-deformação tenha sido observado, ressalta-se que os valores são distintos daqueles obtidos através da visioelasticidade, fenômeno que se torna mais pronunciado a medida que o parâmetro  $\Delta$  aumenta.<sup>(14,17)</sup>

## 4 CONCLUSÕES

- O trabalho possibilitou a determinação de equações relacionando o coeficiente de deformação redundante e o parâmetro  $\Delta$  para os aços inoxidáveis AISI 304 e 420 através de duas técnicas experimentais. Resultados distintos foram obtidos de acordo com o procedimento utilizado e com as características do material analisado.
- Através da técnica de superposição das curvas tensão-deformação, o aço inoxidável AISI 304 apresentou uma relação crescente entre  $\phi$  e  $\Delta$ , com valores de  $\phi$  superiores a 1. Por outro lado, o aço inoxidável AISI 420 não só exibiu uma relação entre  $\phi$  e  $\Delta$  suavemente decrescente ( $\phi$  quase independente de  $\Delta$ ), como apresentou valores de  $\phi$  inferiores a 1, dados incoerentes com a definição do referido parâmetro. Este fenômeno mostra que a técnica de superposição das curvas tensão-deformação pode levar a resultados questionáveis de deformação média e coeficiente de deformação redundante na trefilação, representando, entretanto, um indicativo do encruamento do metal submetido a uma mudança no caminho de deformação.
- Através do método dos perfis de microdureza, foram determinadas equações nas quais o valor do coeficiente de deformação redundante aumenta com o parâmetro  $\Delta$  para os dois metais em estudo. O aço inoxidável AISI 304 se mostrou mais sensível a variações no valor de  $\Delta$ .

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro e à Belgo Mineira Bekaert Artefatos pela doação das feiras de trefilação.

## REFERÊNCIAS

- 1 CADDELL, R.M., ATKINS, A.G. The Influence of Redundant Work When Drawing Rods Through Conical Dies. *Journal of Engineering Industry*, p. 411-419, May 1968.
- 2 SADOK, L., LUKSZA, J., MAJTA, J. Inhomogeneity of Mechanical Properties In Stainless Steel Rods After Drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 44, p. 129-141, 1994.
- 3 SADOK, L., LUKSZA, J., MAJTA, J., SKOLYSZEWSKI, A. Analysis of Inhomogeneity of Mechanical Properties In Stainless Steel Rods After Drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 45, p. 293-298, 1994.
- 4 LIN, H.S., HSU, Y.C., KEH, C.C. Inhomogeneous Deformation and Residual Stress in Skin-Pass Axisymmetric Drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008. *In Press*.
- 5 HILL, R., TUPPER, S.J. A New Theory of the Plastic Deformation in Wire Drawing. *Journal of the Iron and Steel Institute*, v. 158, p. 353-359, 1948.
- 6 BACKOFEN, W.A. *Deformation Processing*. 1 ed. Massachusetts: Addison Wesley Reading, 1972. 326p.
- 7 SADOK, L., PACKO, M. Application of Numerical Techniques to the Analysis of Strains in the Drawing Process. *Steel Research*, v. 60, n. 8, p. 351-355, 1989.

- 8 SADOK, L., PACKO, M., SKOLYSZEWSKI, A., RUMINSKI, M. Influence of the Shape of the Die on the Field of Strains in the Drawing Process. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 34, p. 381-388, 1992.
- 9 CETLIN, P.R. Redundant Deformation Factor Evaluation Through the Stress-Strain Curves Superposition Method in Round Section Bar Drawing – A Literature Analysis. *Journal of Engineering Materials and Technology*, v. 109, p. 272-275, October 1987.
- 10 CETLIN, P.R., MARCOS., J.L.N. Redundant Deformation Factor Evaluation Through the Stress-Strain Curves Superposition Method in Round Section Bar Drawing – Experimental Results. *Journal of Engineering Materials and Technology*, v. 109, p. 276-281, October 1987.
- 11 CETLIN, P.R. Redundant Deformation Factor Evaluation Through the Hardness Profile Method in Round Section Bar Drawing. *Journal of Engineering Materials and Technology*, v. 106, p. 147-151, April 1984.
- 12 KAZEMINEZHAD, M. A Study on the Computation of the Redundant Deformation Factor in wire Drawing of Austenitic 304 Stainless Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 199, p. 230-233, 2008.
- 13 MAJZOBI, G.H., FERESHTEH, F, AGHILI, S.A. An Investigation into the Effect of Redundant Shear Deformation in Bar Drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008. *In Press*.
- 14 CORRÊA, E.C.S., SANTOS, C.A., CETLIN, P.R. Análise da Deformação na Trefilação de Barras de Aço Inoxidável AISI 420 Pelo Método de Visioplaticidade. In: *61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM*, 2006, Rio de Janeiro. *Anais...* p. 3841-3848.
- 15 CORRÊA, E.C.S., FIGUEIREDO, R.B., AGUILAR, M.T.P., CETLIN, P.R. Evolução dos Perfis de Microdureza do Aço Inoxidável AISI 304 Trefilado Durante o Ensaio de Tração. In: *61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM*, 2006, Rio de Janeiro. *Anais...* p. 3833-3840.
- 16 CORRÊA, E.C.S., FIGUEIREDO, R.B., AGUILAR, M.T.P., CETLIN, P.R. Análise da Distribuição de Deformação e Propriedades Mecânicas de Amostras de Aço Inoxidável AISI 420 Trefiladas e Trefiladas /Tracionadas. In: *XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECIMAT*, 2006, Foz do Iguaçu. *Anais...* p. 6780-6790.
- 17 CORRÊA, E.C.S., AGUILAR, M.T.P., CETLIN, P.R. Evaluation of the Deformation in Drawing of AISI 304 Stainless Steel Bars Through the Visioplaticity Technique. In: *19º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM*, 2007, Brasília. *Anais...* p. 1-7.
- 18 WILSON, D.V., ZANDRAHIMI, M., ROBERTS, W.T. Effects of Changes in Strain Path on Work Hardening in Cp Aluminium and an Al-Cu-Mg Alloy. *Acta Metallurgica et Materialia*, v. 38, n. 2, p. 215-226, 1990.
- 19 KUSNIERZ, J., KUROWSKI, M., BALIGA, W. Strain Softening Effects in Microstructure of Twisted Pre-Deformed Copper Rods. *Materials Chemistry and Physics*, v. 81, p. 548-551, 2003.