

AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS PARA QUANTIFICAÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE MARTENSITA FORMADA DURANTE O PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO DO AÇO ASTM 201LN *

Leandra Carla Aparecida Cordeiro¹
Yuri Mikael dos Santos Alves²
Carolline Serafim da Silva³
Camila Oliveira de Souza⁴
Náhrima Chambela Moraes⁵
Andersan dos Santos Paula⁶
Luiz Paulo Mendonça Brandão⁷

Resumo

Neste trabalho foram avaliados três métodos de quantificação da fração volumétrica de martensita α' formada no aço ASTM 201LN durante o processo de laminação. Para isso, quatro amostras deste material foram laminadas à temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$) com 8, 9, 10 e 11 passes de deformação com, aproximadamente, 10% de redução de espessura a cada passe. A quantificação de fases foi realizada por meio de ferritoscopia e por dois métodos a partir dos difratogramas de difração de Raios X (DRX): relação das áreas dos picos de maior intensidade e método de Rietveld. Os resultados obtidos da quantificação de fases pelos três métodos abordados mostraram que a fração volumétrica de martensita aumentou à medida que houve um aumento da deformação, embora os valores encontrados pela técnica de ferritoscopia foram inferiores que os obtidos pelos métodos de DRX. Isso pode ser explicado devido a erros inerentes à técnica de ferritoscopia, como também a técnica de ferritoscopia resultado de dados de volumes expressiva da amostra enquanto a DRX de uma camada inferior a $10\ \mu\text{m}$ abaixo da superfície. Em relação aos valores obtidos pelos métodos de DRX, ambos apresentaram valores próximos, embora foi observado que o método de Rietveld foi considerado o mais preciso por apresentar valores de *GOF* (*Goodness of fit*) inferiores a 1,7, mostrando assim uma boa qualidade e precisão do refinamento.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Austenítico, Efeito TRIP, Quantificação de fase, Martensita

EVALUATION OF QUANTIFICATION METHODS FOR MARTENSITE VOLUMETRIC FRACTION FORMED DURING THE COLD ROLLING PROCESS OF ON ASTM 201LN STEEL

Abstract

In this work three methods of quantification of the martensite volumetric fraction formed in the ASTM 201LN steel during the rolling process were evaluated. To this end, four samples of this material were laminated at room temperature ($\sim 25^\circ\text{C}$) with 8, 9, 10 and 11 deformation passes with approximately 10% thickness reduction at each pass. Phase quantification was performed by means of a ferritoscopy and two methods from the XRD diffractograms: areas relation of the highest intensity peaks and Rietveld method. The obtained results of the phase quantification by the three methods presented showed that the volumetric fraction of martensite increased as there was an increase of the deformation, although the values found by the technique of ferritoscopy were lower than those obtained by the XRD methods. This can be explained due to errors inherent in the technique of Ferritoscopy, as well as the technique of ferritoscopy resulting from data of expressive volumes of the sample while the XRD of a layer less than $10\ \mu\text{m}$ below the surface. Regarding the values obtained by the XRD methods, both presented close values, although it was observed that the Rietveld method was considered the most accurate because it presented values of *GOF* (*Goodness of fit*) of less than 1,7, thus showing a good quality and accuracy of refinement.

Keywords: Austenitic Stainless Steel; TRIP Effect; Phase quantification, Martensite.

- ¹ Física, M. Sc., Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais (PPGCM), Seção de Engenharia de Materiais (SE/8), Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ² Eng. De Materiais, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais (PPGCM).
- ³ Eng. Metalurgista, M.Sc., Analista da Garantia da Qualidade Jr., Galvasud, Porto Real, RJ, Brasil.
- ⁴ Eng. Metalurgista, M.Sc., Doutora pelo PPGCM, SE/8, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ⁵ Eng. Química, M. Sc., Doutoranda do PPGCM, SE/8, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ⁶ Eng. Metalurgista, M.Sc., D.Sc., Professora Associada dos cursos de graduação em Eng. Materiais e PPGCM, SE/8, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ⁷ Eng. Metalurgista, M.Sc., D.Sc., Professor Titular dos cursos de graduação em Eng. Materiais e PPGCM, SE/8, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva apresenta uma grande necessidade em reduzir cada vez mais o peso dos veículos para minimizar o consumo de combustível e, conseqüentemente, diminuindo o custo e a agressão ecológica. Esta necessidade impulsiona as siderúrgicas a desenvolverem aços avançados de alta resistência, em que a produção de chapas mais finas permite uma redução o peso das peças, sem a perda de suas características originais. Entretanto, existem casos em que o aumento da resistência faz com que ocorra uma redução da conformabilidade do material, o que afeta a liberdade de design [1]. Neste sentido, os aços inoxidáveis austeníticos (AIA) surgem como solução para este impasse, uma vez que além de possuírem propriedades como boa resistência mecânica e resistência à corrosão, também são passíveis de sofrer transformação martensítica quando deformados. Este fenômeno é conhecido como efeito TRIP (*Transformation Induced Plasticity*), em que ocorre a transformação da austenita metaestável em martensita durante o processo de deformação a temperatura ambiente [2].

Entre os inoxidáveis austeníticos, os da série 300 com sistema do tipo Fe-Cr-Ni são os que possuem maior interesse comercial, devido as suas propriedades e aplicações. De contrapartida, os aços da série 200 tem ganhado destaque como uma alternativa de substituição aos da série 300, uma vez estes possuem um menor custo, onde o teor de Ni é reduzido e substituído por uma combinação de N e Mn para a estabilização da austenita [3,4]. Outra vantagem que os aços da série 200 apresentam é a grande susceptibilidade ao efeito TRIP quando deformado. Sendo assim, é de grande interesse encontrar um método mais eficiente para quantificar a fração volumétrica de martensita formada durante o processo de deformação.

Com o objetivo de avaliar o percentual de martensita quatro amostras do aço ASTM 201LN foram laminadas à temperatura ambiente (~ 25 °C) com 8, 9, 10 e 11 passes de deformação com, aproximadamente, 10% de redução de espessura a cada passe, e resfriadas ao ar posteriormente. A quantificação de fases foi realizada por meio de ferritoscopia e por dois métodos a partir dos difratogramas de DRX: método da relação das áreas dos picos de maior intensidade das fases identificadas e pelo método de Rietveld. Os resultados obtidos da quantificação de fases pelos três métodos abordadas através das duas técnicas exploradas mostraram que a fração volumétrica de martensita aumentou à medida que houve um aumento da deformação. E por fim, foi feita uma comparação entre os resultados obtidos com o objetivo de conduzir uma crítica quanto à precisão de cada um dos métodos adotados para a quantificação de fases.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Material e métodos

O material avaliado neste trabalho é o aço inoxidável austenítico ASTM 201LN, fornecido na forma de chapa pela empresa APERAM South America. A chapa recebida possui, aproximadamente, 5,00 mm de espessura na condição laminada a quente seguida de cozimento contínuo, com temperatura de encharque de 1050°C. A composição química deste material está descrita na tabela 1.

Tabela 1. Composição química (% em peso) do aço ASTM 201LN fornecido pela APERAM South América.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
0,03	6,908	0,309	0,038	0,001	17,004	4,009	0,019	0,003	0,024
Co	V	Nb	Pb	B	Ti	Sn	W	N	
0,046	0,043	0,022	0,007	0,001	0,006	0,003	0,012	0,2	

Foram obtidos 5 corpos de prova do ASTM 201LN com dimensões iguais a 3,8 x 10 cm (Direção Transversal a laminação (DT) x Direção de Laminação (DL)), onde um foi mantido no estado como recebido (CR) e os outros quatro foram laminados à temperatura ambiente (~25°C) com 8, 9, 10 e 11 passes de deformação com, aproximadamente, 10% de redução de espessura a cada passe, com o objetivo de induzir a transformação martensítica através do efeito TRIP. O processo de laminação foi realizado nas instalações do Laboratório de Tratamento Termomecânico do Instituto Militar de Engenharia (IME) no laminador piloto FENN MFG, modelo D-51719:1973, o qual opera em configuração duo com cilindros de diâmetro 133,70 mm.

Foram realizadas medidas de ferritoscopia nas amostras laminadas com o objetivo de avaliar o percentual de martensita formada durante o processo de deformação em comparação a condição CR. Para a realização desta análise não foi necessária nenhuma preparação prévia das amostras. As medidas foram feitas na superfície das amostras, em que foram traçadas duas linhas centrais (horizontal e vertical), uma relação à direção de laminação (DL) e outra na direção transversal (DT), com distanciamento de 1 cm entre as medidas. As análises foram realizadas na Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR) da Universidade Federal Fluminense (UFF) com o auxílio do ferritoscópio FISCHER - FMP30, cuja sensibilidade de detecção da fase ferromagnética varia desde 0,1 a 80%. Neste caso a fase ferromagnética é a martensita α' enquanto a austenita γ é paramagnética.

Com o objetivo de identificar e quantificar as fases presentes foram realizadas análises de Difração de Raios X (DRX) em todas as amostras. Para isso as amostras tiveram que passar por algumas etapas de preparação conforme detalhado na tabela 2.

Tabela 2. Etapas de preparação das amostras para análise de DRX.

Etapas de preparação	Procedimento
Corte	As amostras foram cortadas com dimensões de 25 x 25 cm (DL x DT), em uma máquina de corte Discotom com disco abrasivo de carbetto de silício.
Desbaste e lixamento	As amostras foram desbastadas até ¼ da espessura e lixadas para preparar a superfície de análise, utilizando lixas metalográficas de granulometria de 400, 600, 1200 mesh.
Polimento eletrolítico	Para o polimento eletrolítico foi utilizada uma solução composta por ácido perclórico (5 mL), água destilada (10 mL) e álcool etílico absoluto (75 mL) à temperatura ambiente, com voltagem 25 V e tempo de 15 a 30 s.

As análises de DRX foi realizado no laboratório de Difração de Raios X do IME em um difratômetro de Raios-X, modelo X'PERT PRO MRD da PANalytical com o software Data Colector – Absolute Scan utilizando a configuração foco linha. Os

parâmetros utilizados para tais análises foram: ângulos iniciais e finais de 45 e 130° para 2Theta (2θ), respectivamente, para o ângulo de 2θ acoplado de $\theta/2\theta$, passo de 0,0390° e tempo por passo de 144 s. A ótica incidente consistiu em máscara 10 mm, tubo de cobalto (Co $K\alpha = 1,789 \text{ \AA}$), filtro de ferro, voltagem e corrente de 40 kV e 45 mA, respectivamente.

2.2 Resultados e discussão

Quatro amostras do aço inoxidável ASTM 201LN foram laminadas à temperatura ambiente com 8, 9, 10 e 11 passes, objetivando-se uma média de 10% de redução em espessura por passe. Os resultados obtidos desse processamento estão descritos na tabela 3.

Tabela 3. Reduções e deformações obtidas na laminação a frio à temperatura ambiente nas amostras do aço ASTM 201LN.

Amostra	Espessura (mm)		Redução (%)		Deformação		Parâmetro Δ
	Inicial	Final	Por passe	Acumulada	Verdadeira ε	Efetiva ε_{ef}	
201LN-8-LF	2,39	2,16	9,68	56,45	0,839	0,969	0,579
201LN-9-LF	2,15	1,96	8,94	60,48	0,936	1,081	0,573
201LN-10-LF	1,94	1,78	8,11	64,11	1,033	1,193	0,573
201LN-11-LF	1,74	1,59	8,8	67,94	1,146	1,323	0,52

Os valores referentes às deformações impostas foram calculados a partir dos valores da espessura, obtidos após cada passa de laminação, assim como a deformação efetiva segundo as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\varepsilon = \ln \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_f} \quad (\text{eq.1})$$

Sendo:

ε = deformação verdadeira imposta em cada processo de redução;

ε_i = espessura inicial;

ε_f = espessura final.

$$\varepsilon_{ef} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \varepsilon \quad (\text{eq.2})$$

Sendo:

ε_{ef} = deformação efetiva imposta em cada passe de laminação;

ε = deformação verdadeira.

O parâmetro Δ avalia a homogeneidade da deformação no processo laminação foi, segundo a equação 3 (BACKOFEN, 1972), sendo que para valores de $\Delta > 1$ a deformação é definida como heterogênea e para $\Delta < 1$ homogênea.

$$\Delta = \frac{2-r}{2} \sqrt{\frac{e_i}{r.R}} \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

e_i = espessura inicial;

r = redução em cada passe;

R = raio do cilindro de laminação.

Os resultados mostraram que a redução pretendida foi alcançada, em torno de 10% em um único passe de laminação, e houve deformações homogêneas em todas as amostras, uma vez os valores do parâmetro Δ foram menores que 1 para todas as amostras, conforme pode ser visto na tabela 3.

Foram realizadas análises por difração de raios X em todas as amostras com objetivo de identificar e quantificar as fases presentes, sendo que para as amostras laminadas a técnica também permitiu avaliar o progresso da transformação martensítica em função da deformação. Nas figuras 1 e 2 são destacados os difratogramas obtidos na análise de DRX.

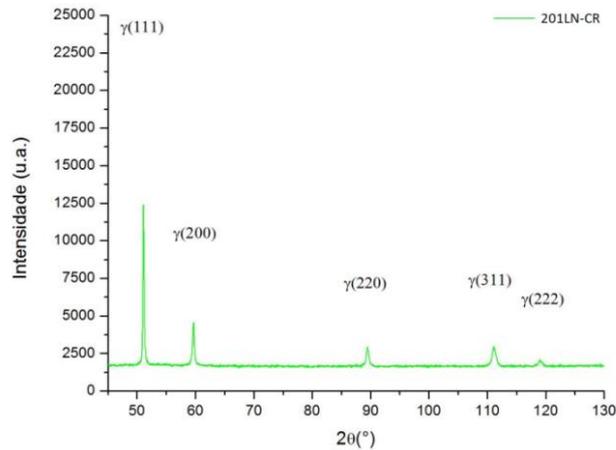


Figura 1. Difratograma do aço ASTM 201LN na condição como recebido (amostra 201LN-CR) obtido com radiação de $\text{CoK}\alpha$.

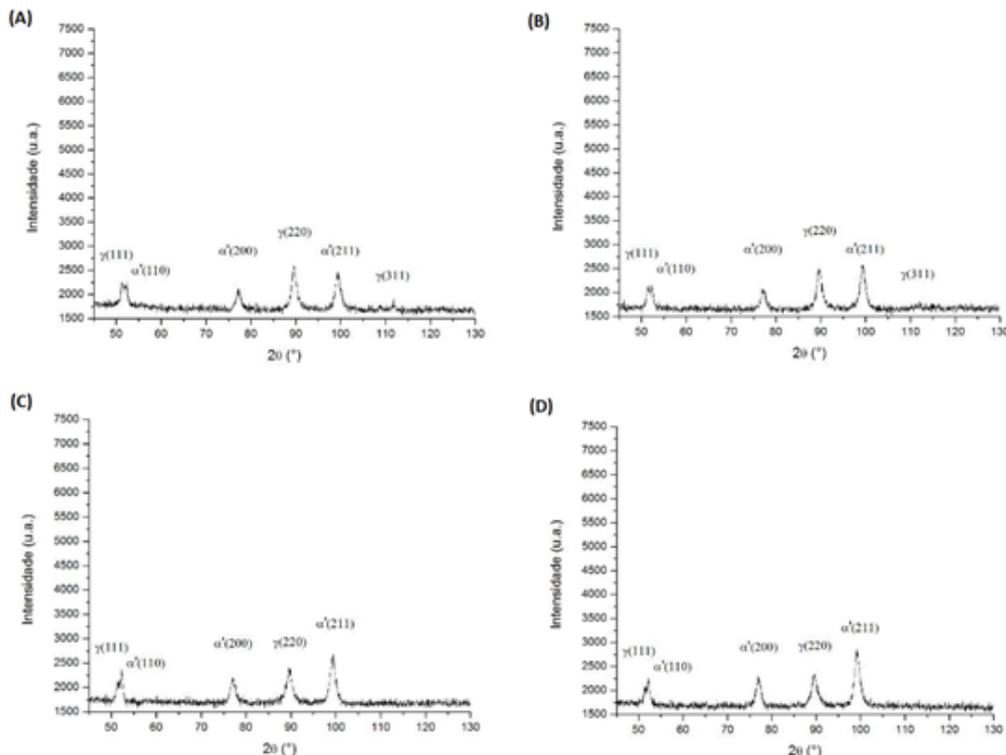


Figura 2. Difratogramas, obtidos com radiação de $\text{CoK}\alpha$, do aço ASTM 201LN laminado a frio com: (A) 8, (B) 9, (C) 10, (D) 11 passes de redução, com 10% de redução a cada passe.

O material como recebido apresentou picos associados somente à austenita, sendo que o pico relativo ao plano (111) foi o mais intenso. Não foram observados picos relativos à martensita ou a ferrita delta, sendo que estas fases poderiam ter sido induzidas, no caso da martensita, ou ser remanescentes de alguma etapa de processamento do material laminado a quente, no caso da ferrita delta. Analisando os difratogramas das amostras laminadas observou-se picos relativos tanto a austenita quanto a martensita, sendo que para as amostras deformadas o pico mais intenso da austenita passou a ser o $\gamma(220)$, onde se fizeram presentes picos da martensita α' com manutenção do mais intenso para o $\alpha'(211)$.

A quantificação de fases foi realizada nas quatro amostras laminadas por meio das técnicas de Ferritoscopia e Difração de Raios X (DRX). A técnica de Ferritoscopia se baseia na indução magnética que ocorre quando a amostra é submetida a um campo magnético que interage com a fase ferromagnética (martensita) contida no material, fazendo com que seja gerada uma tensão correspondente à proporção desta fase. Já a análise quantitativa baseada na técnica de DRX foi realizada por dois métodos: método da relação das áreas dos picos de maior intensidade das fases identificadas, utilizando o software OriginPro 8.6 e pelo método de Rietveld, que consiste no refinamento do padrão de difração experimental, utilizando o software TOPAS – Bruker 4.0.

Na tabela 4 e na figura 3 são representados os resultados obtidos da quantificação de fases obtida por ferritoscopia, sendo que os valores da fração volumétrica de martensita foram calculados a partir da equação 4:

$$V_{\alpha'} = \frac{\frac{W_{\alpha'}}{\rho_{\alpha'}}}{\frac{W_{\alpha'}}{\rho_{\alpha'}} + \frac{W_{\gamma}}{\rho_{\gamma}}} \times 100 \text{ (eq.4)}$$

Sendo:

$W_{\alpha'}$ = Fração mássica de martensita;

W_{γ} = Fração mássica de austenita;

$\rho_{\alpha'}$ = densidade de martensita;

ρ_{γ} = densidade de austenita.

Onde a densidade (ρ) é obtida pela equação 5:

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A} \text{ (eq.5)}$$

Sendo:

n = número de átomos por célula unitária;

A = massa atômica;

V_C = volume da célula unitária;

N_A = número de Avogadro.

Tabela 4. Valores das frações volumétricas de martensita e dos erros, realizada por ferritoscopia, em função da redução na espessura para as amostras laminadas com 8, 9, 10 e 11 passes.

Amostra	Fração volumétrica de Martensita (%)	Erro
201LN-8-LF	25,67	0,42
201LN-9-LF	28,57	0,51
201LN-10-LF	31,04	0,56
201LN-11-LF	34,27	0,82

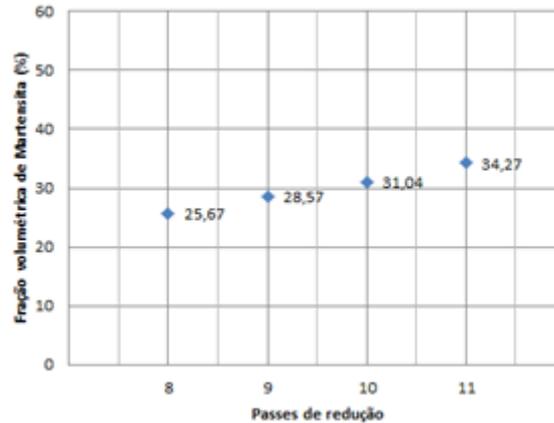


Figura 3. Análise da evolução da fração volumétrica de martensita, realizada por ferritoscopia, em função da redução na espessura para as amostras laminadas com 8, 9, 10 e 11 passes.

A quantificação de fases através da relação entre as áreas dos picos de DRX de maior intensidade das duas fases identificadas foi realizada por meio da equação 6, utilizada por TALONEN et al. (2004).

$$\frac{I_{\gamma}}{I_{\alpha'}} = \frac{R_{\gamma}}{R_{\alpha'}} \frac{V_{\gamma}}{V_{\alpha'}} \quad (\text{eq.6})$$

Sendo:

I_{γ} = Área do pico mais intenso da fase austenita.

$I_{\alpha'}$ = Área do pico mais intenso da fase martensita

R_{γ} = Constante relacionada ao pico da fase austenita e a radiação incidente empregada.

$R_{\alpha'}$ = Constante relacionada ao pico da fase austenita e a radiação incidente empregada.

Os valores de R dos picos de austenita e martensita foram medidos para diversas radiações, inclusive para a de $\text{CoK}\alpha$, como apresentado no trabalho de TALONEN et al. (2004).

Tabela 4. Valores das constantes R para os picos de austenita e martensita utilizando radiação incidente de Co [5].

Pico DRX	(111) γ	(200) γ	(220) γ	(311) γ	(222) γ	(110) α'	(200) α'	(211) α'	(220) α'
R (Co K α')	138,4	62,7	36,8	56,9	19,5	206,2	29,1	65	65

Para o cálculo da fração volumétrica de martensita assumiu-se que:

$$V_{\gamma} + V_{\alpha'} = 1 \quad (\text{eq.7})$$

Obtendo-se:

$$V_{\alpha'} = \frac{I_{\alpha'} I_{\gamma}}{I_{\gamma} R_{\alpha'} + I_{\alpha'} R_{\gamma}} \quad (\text{eq.8})$$

Na figura 4 são mostrados os resultados obtidos dos cálculos das frações volumétricas de martensita para as amostras laminadas, pela relação das áreas dos picos de maior intensidade.

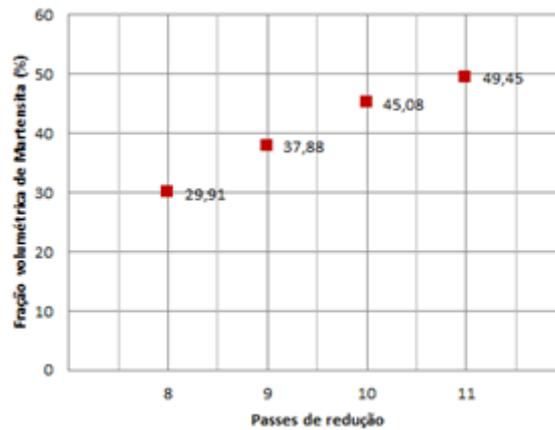


Figura 4. Evolução da fração volumétrica de martensita em função da redução na espessura, realizada pelo método da relação das áreas dos picos de maior intensidade, para as amostras laminadas com 8, 9, 10 e 11 passes.

A quantificação realizada pelo método de Rietveld consiste no refinamento do padrão de difração experimental, sendo que este refinamento é obtido por pelo método matemático de mínimos quadrados em função da diferença encontrada, de ponto a ponto, entre os difratogramas experimental e teórico (calculado). A precisão do refinamento é feita por meio dos valores estatísticos como a qualidade do ajuste (GOF – Goodness of fit), que deve apresentar um valor menor ou igual a 1,7. A análise quantitativa das amostras laminadas foi realizada através do software TOPAS – Bruker 4.0. Nas figuras 5 e 6 são mostrados os resultados obtidos para a quantificação de fases pelo método de Rietveld, sendo que na figura 5 são apresentadas as imagens do refinamento comparando os difratogramas experimental (preto) e teórico (vermelho), com as respectivas frações volumétricas de martensita e austenita e os valores do ajuste (GOF), para as amostras com 8, 9, 10 e 11 passes de redução.

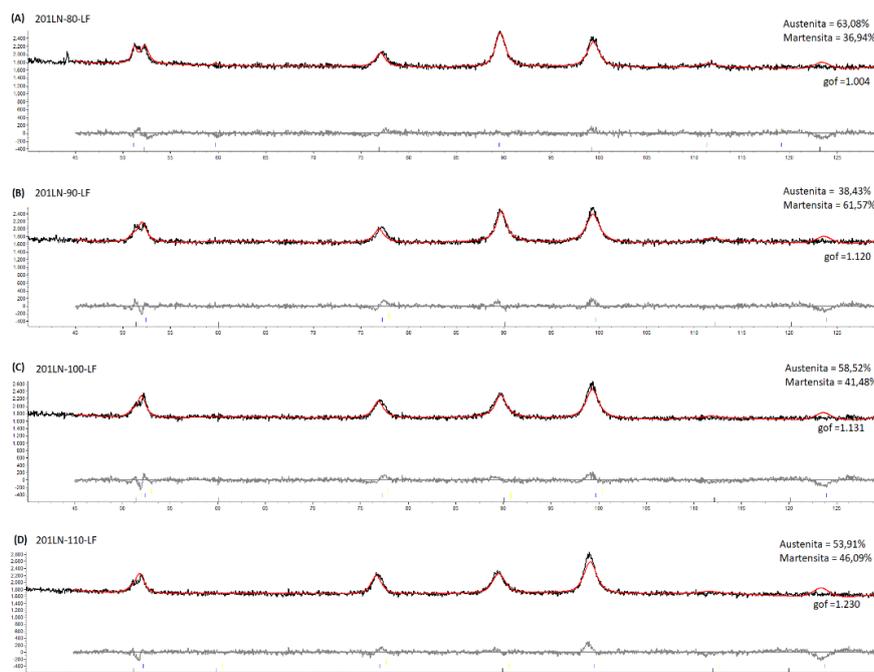


Figura 5. Comparação dos difratogramas experimental e teórico com as frações volumétricas de martensita e austenita, para as amostras laminadas com (A) 8, (B) 9, (C) 10 e (D) 11 passes.

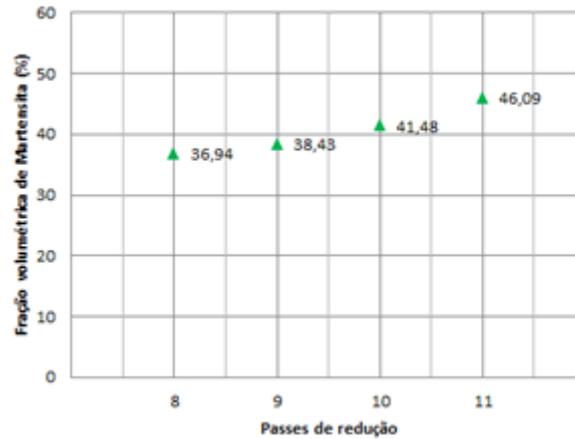


Figura 6. Evolução da fração volumétrica de martensita em função da redução na espessura, realizada por refinamento de Rietveld, para as amostras laminadas com 8, 9, 10 e 11 passes.

Com o objetivo de avaliar os métodos de quantificação de fases utilizados, foi feita uma comparação dos resultados obtidos que estão descritos na figura 7.

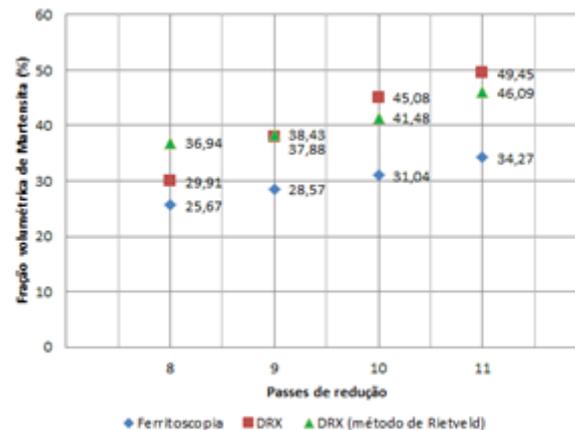


Figura 7. Comparação dos resultados da evolução da fração volumétrica de martensita em obtidos por ferritoscopia e pelos resultados DRX por meio dos métodos da área mais intensa e pelo método de Rietveld.

Analisando os resultados dos métodos de quantificação de fases apresentados neste trabalho, observou-se o aumento da fração volumétrica de martensita com o aumento do número de passes de redução. Mas quando comparados os valores obtidos por ferritoscopia com os valores obtidos pelos dois métodos a partir da análise de DRX, nota-se que valores da fração volumétrica de martensita obtidos por ferritoscopia foram menores. Segundo TALONEN *et. al.* (2004) as medidas feitas por ferritoscopia possuem um erro inerente à técnica, que é baseada na determinação da permeabilidade magnética do material, que por sua vez é uma função da deformação imposta. Essa interferência justificaria a maior dispersão de resultados com o aumento da deformação sofrida pelos materiais. Outra justificativa para a diferença nos valores obtidos por ferritoscopia e por DRX é a diferença da área de abrangência das técnicas. De acordo com TALONEN *et. al.* (2004) a técnica de DRX abrange uma fina camada sobre a superfície da amostra (<math><10\mu\text{m}</math>), enquanto a de ferritoscopia analisa um volume maior de material.

Os resultados da quantificação de fases obtidos pelos dois métodos a partir da análise de DRX apresentaram valores bem próximos. Segundo TALONEN *et. al.*

(2004) os resultados obtidos pela técnica de DRX possuem uma imprecisão devido à textura, especialmente após a deformação plástica. Nesse sentido, o método de Rietveld pode apresentar uma precisão maior que o método baseado na relação entre as áreas dos picos de maior intensidade, pois através dele é feito um refinamento que é realizado pela diferença encontrada entre os difratogramas experimental e teórico. A precisão deste refinamento é verificada pela qualidade de ajuste (*GOF – Goodness of fit*), que deve apresentar um valor menor ou igual a 1,7. Sendo assim, analisando os resultados obtidos pelo método de Rietveld verificou-se que os difratogramas experimental e teórico ficaram bem próximos, e isto pode ser comprovado ao se analisar os valores de *GOF* encontrados: 1,004; 1,120; 1,131 e 1,230, respectivamente, para as amostras com 8, 9, 10 e 11 passes de redução.

3 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho observou-se que houve um aumento na fração volumétrica de martensita e um decréscimo na fração de austenita, em função do aumento dos passes de laminação. Isto pode ser verificado através das quantificações de fases feita por ferritoscopia e DRX, sendo que para esta última foram utilizados dois métodos: método da relação das áreas dos picos de maior intensidade das fases identificadas e pelo método de Rietveld. A adoção destes três métodos de quantificação de fases foi realizada com o objetivo de fazer uma crítica quanto à precisão de cada um deles. Devido a erros inerentes a técnica de ferritoscopia, torna-se necessário o uso de mais algum método para corroborar nos resultados da quantificação de fases, que neste estudo foram adotados os métodos a partir da análise de DRX. Os dois métodos a partir dos difratogramas de DRX apresentaram resultados similares, sendo que o método de Rietveld se mostrou mais preciso, uma vez que os difratogramas experimental e teórico ficaram bem próximos, e isto pode ser comprovado por meio dos valores de *GOF* obtidos, em que todos apresentaram valores inferiores a 1,7.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Capes pelas bolsas de doutorado de Leandra Carla A. Cordeiro e de Náhrima Chambela Moraes, e ao CNPq pelas bolsas de mestrado de Caroline Serafim da Silva, de doutorado de Camila Oliveira de Souza, e de Produtividade em Pesquisa PQ-2 (Processos 307798/2015-1 e 312313/2018-7) de Andersan S. Paula; a APERAM South America pela doação do material em estudo, a Universidade Federal Fluminense (UFF) pela disponibilização do equipamento para as medidas de ferritoscopia e ao Instituto Militar de Engenharia (IME) pela análise de DRX.

REFERÊNCIAS

- 1 Gorni A.A.: Aços avançados de alta resistência: Microestrutura e propriedades mecânicas. Corte & Conformação de Materiais, 2008.
- 2 LO K.H., SHEK C.H. e LAI J.K.L. Materials Science and Engineering, R.65, p.39-104; 2009.
- 3 ASM International Austenitic Stainless Steels [Seção do Livro], Stainless Steels for Design Engineers, 2008.
- 4 ISSFa, "New 200-series" steels: An opportunity or a threat to the image of stainless steel, 2005.

- 5 Talonen, J.; Aspegren, P.; Hänninen, H. Comparison of different methods for measuring strain induced α' -martensite content in austenitic steels. *Materials Science and Technology*, Vol. 20, pp.1506-1511, 2004.
- 6 Backofen, W.A *Deformation Processing* [Livro], pp.326, 1972.