

## Influência do tratamento térmico de envelhecimento a 850°C na microestrutura e nas propriedades mecânicas e magnéticas do aço Duplex UNS S31803

Influence of aging heat treatment at 850 °C in the microstructure, mechanical and magnetic properties of Duplex steel UNS S3180

Claudiney de Sales Pereira Mendonça, Vander Alkmin dos Santos Ribeiro, Manoel Ribeiro da Silva, Valesca Donizeti de Oliveira, Carlos Alberto Rodrigues, Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo, Edmilson Otoni Correa, Eduardo Miguel da Silva.

UNIFEI- Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá – MG - BRASIL.

e-mail: [sales.claudiney21@gmail.com](mailto:sales.claudiney21@gmail.com), [vanderalkmin@gmail.com](mailto:vanderalkmin@gmail.com), [valescadooiveira@yahoo.com.br](mailto:valescadooiveira@yahoo.com.br), [mrsilva@unifei.edu.br](mailto:mrsilva@unifei.edu.br), [carlosar@projosom.com.br](mailto:carlosar@projosom.com.br), [mirianmottamelo@unifei.edu.br](mailto:mirianmottamelo@unifei.edu.br), [ecotoni@unifei.edu.br](mailto:ecotoni@unifei.edu.br), [eduardosilva@unifei.edu.br](mailto:eduardosilva@unifei.edu.br)

---

### RESUMO

Os aços inoxidáveis duplex são aqueles que possuem uma microestrutura constituída por duas fases distintas, ferrita ( $\alpha$ ) ferromagnética e austenita ( $\gamma$ ) paramagnética, presentes em quantidades aproximadamente iguais. Neste trabalho, a microestrutura do aço duplex UNS S31803 foi modificada através de tratamento térmico (TT) de solubilização à temperatura de 1050°C por 30 minutos, seguido de resfriamento em água. Em seguida, as amostras foram envelhecidas por 5, 15, 30, 60 e 180 minutos, à temperatura de 850°C. Este tratamento promoveu a formação de uma fase deletéria, a fase sigma, que se forma através da decomposição da ferrita, rica nos elementos Cr e Mo, que são formadores desta fase. A formação desta fase altera as propriedades mecânicas e químicas (resistência à corrosão) dos aços duplex e superduplex. As propriedades magnéticas e mecânicas foram avaliadas em cada uma das condições estudadas e correlacionadas com a microestrutura. As propriedades magnéticas das amostras foram obtidas em um Magnetômetro de Amostra Vibrante (MAV), no qual se fez o levantamento da curva de histerese deste material. As propriedades mecânicas das amostras foram caracterizadas por microdureza Vickers empregando-se uma carga de 0,2 kgf. A caracterização microestrutural foi realizada utilizando um microscópio óptico. Com o aumento do tempo de tratamento térmico de envelhecimento, ocorreu o aumento do percentual de fase sigma formada, e diminuição da fase ferrita. Devido a essa transformação, houve alteração das propriedades magnéticas do aço duplex. A fase ferrítica foi calculada através de dois métodos: ferritoscopia e medição da magnetização de saturação; em ambos os casos foi observada a diminuição da fase ferromagnética.

**Palavras-chave:** solubilização, envelhecimento, fase sigma, propriedades magnéticas e mecânicas.

---

### ABSTRACT

Duplex stainless steels are those that have a microstructure constituted by two phases, ferromagnetic ferrite ( $\alpha$ ) and paramagnetic austenite ( $\gamma$ ), which are present in approximately equal volumetric fraction. In this work, the microstructure of duplex steel UNS S31803 was modified by a thermal solubility treatment at temperature of 1050 °C for 30 minutes, followed by water cooling. Next, specimens were aged for 5, 15, 30, 60 and 180 minutes at temperature of 850°C. This treatment promoted the formation of a deleterious phase, the sigma phase, which is formed by the decomposition of ferrite, rich in the elements Cr and Mo. The formation of this phase changes the mechanical and chemical properties of the duplex and super duplex steels. The magnetic and mechanical properties were evaluated in each of the conditions mentioned and a

correlation with the microstructure was made. The magnetic properties of the specimens were obtained in a Vibrating Sample Magnetometer (VSM), where the material hysteresis curves were obtained. The mechanical properties of the samples were characterized by Vickers micro-hardness measurements performed with a load of 0.2 kgf. Microstructural characterization was carried out by using an optical microscope. VSM tests results showed that as the aging time increased, the volume fraction of sigma phase also increased, causing a diminution of the steel duplex magnetic properties. The diminution of the magnetic properties of the duplex steel with the aging time is attributed to the lower fraction of ferrite as more sigma phase is formed by the decomposition of ferrite. The hardness results showed an increasing of the hardness of the material as the aging temperature increased, which confirms the higher brittleness of the steel due to the higher amount of sigma phase.

**Keywords:** solubilization, aging, sigma phase, magnetic and mechanical properties

## 1. INTRODUÇÃO

Os Aços Inoxidáveis Duplex (AID) são constituídos de frações volumétricas de ferrita e austenita aproximadamente iguais, exibindo propriedades mecânicas e de resistência à corrosão superior aos outros aços em uma ampla gama de aplicações [1, 2]. Dentre os aços inoxidáveis duplex, o aço UNS S31803, ou mais conhecido como SAF 2205, é frequentemente utilizado em aplicações “offshore”, como evaporadores de água, tubos de circuitos hidráulicos, tubos para transporte de dióxido de carbono seco e úmido nas indústrias químicas, evaporadores [3] e torres para estocagem de pasta de papel e tanques para transporte marítimo de produtos químicos corrosivos [4].

A resistência à corrosão do UNS S31803 supera a dos aços austeníticos, mesmo os de baixo teor de carbono [3, 4]. No entanto, durante o envelhecimento isotérmico ou durante determinadas sequências de tratamento térmico, pode ocorrer a precipitação de fases indesejáveis, que causam a redução de propriedades mecânicas e afetam a resistência à corrosão. Particularmente, entre 700°C e 900°C, pode ocorrer a precipitação de nitretos de cromo e fase sigma; esta última ou como produto da decomposição eutetóide da ferrita original, gerando austenita secundária, ou através da precipitação a partir da austenita e ferrita presentes. A fase sigma apresenta elevada dureza e grande fragilidade [1].

A estrutura cristalina de  $\sigma$  apresenta trinta átomos por célula unitária de sua estrutura tetragonal, de relação próxima a 0,52; e a temperatura ambiente não é magnética [5, 6]. Sua presença é indesejável nos aços duplex por comprometer tanto a resistência à corrosão quanto a tenacidade. A presença de sigma, além do grande endurecimento que causa no material, acaba por comprometer também a ductilidade, impedindo muitas vezes a aplicação convencional do aço [7].

Os aços inoxidáveis duplex apresentam uma fina microestrutura de austenita paramagnética e ferrita ferromagnética. Essas propriedades magnéticas podem ser modificadas mudando as proporções ferrita e austenita. O material em seu estado solubilizado apresenta características ferromagnéticas, as mesmas apresentadas pela fase ferrítica, enquanto que a fase austenítica apresenta um comportamento paramagnético. Com o tratamento térmico, o aumento do percentual de fase sigma acarreta uma diminuição do comportamento ferromagnético do aço duplex, devido à diminuição do percentual de ferrita na microestrutura do material. Alguns autores mostram que ensaios que avaliam variações na permeabilidade e saturação magnética constituem boas opções de detecção não destrutiva de fase deletéria sigma [8, 9].

Este trabalho propôs fazer a medição da quantidade de ferrita através da medição da magnetização de saturação obtida por Tavares et. al. A principal vantagem desta técnica é a análise do volume do material e a sensibilidade pela detecção das fases, pelo fato da saturação magnética,  $B_s$ , não depender da estrutura, e sim apenas da quantidade da fase ferromagnética [10]. Por métodos comparativos, avaliaram-se os dados da magnetização de saturação pelo teor da fase ferromagnética através do ferritoscópio.

## 1 MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 mostra a composição química do aço inoxidável duplex UNS S31803 (SAF 2205).

**Tabela 1:** composição química do aço inoxidável duplex UNS S31803.

%C	%Cr	Mn	%Ni	%Mo	%Si	%Co	%Cu	%N	%Nb	%Sn	%S	%P	%Fe
0,018	22,22	1,48	5,59	3,08	0,45	0,13	0,28	0,18	0,021	0,012	0,001	0,019	66,50

As amostras utilizadas nas medições magnéticas foram usinadas na forma de pequenos discos, com as seguintes dimensões: 3 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. Nas análises por ferritoscopia, as dimensões foram 20x20x5 mm. Após esta etapa, as amostras foram tratadas termicamente (TT) por solubilização em um forno de resistência elétrica à temperatura de 1050°C por 30 minutos, seguido por resfriamento rápido em água. Em seguida, as amostras foram envelhecidas à temperatura de 850°C, variando-se o tempo de tratamento de 5 min, 15min, 30 min, 60 min e 180 min.

Após o tratamento térmico, estas amostras foram aferidas por uma balança de precisão Bel Engineering e, posteriormente, foram levadas ao MAV (Magnetômetro de amostras vibrante), da marca Lake Shore, modelo VSM7404, para a caracterização magnética. Para o levantamento das curvas de histereses do material, utilizou-se um campo aplicado máximo de 14000 G e um tempo constante de 15min. As curvas de histerese foram corrigidas para os campos desmagnetizantes.

Um campo magnético pode ser aplicado em qualquer direção no plano de uma amostra feita em forma de discos finos.

Entretanto, dependendo das dimensões e da deformidade da amostra, deve-se aplicar uma correção nos valores do campo magnético externo  $H$ , correção esta que correspondente ao valor do campo desmagnetizante  $H_d$  que se desenvolve nas extremidades da amostra [11, 12].

Conhecendo-se as dimensões da amostra, os valores do campo efetivo  $H_{ef}$  podem ser corrigidos subtraindo-se o valor do campo desmagnetizante  $H_d$  do campo externo  $H$ . O campo efetivo  $H_{ef}$ , é dado por:

$$H_{ef} = H - H_d \quad (1)$$

Em seguida, as amostras foram lixadas, polidas e embutidas antes do ensaio metalográfico, para a obtenção de uma superfície isenta de irregularidades e imperfeições, conforme a norma ASTM E 384, (1999) [13]. Posteriormente, foi realizado o ataque químico com reagente Behara por 15s, tendo como objetivo a identificação da fase sigma. Os ensaios metalográficos foram realizados através de microscopia ótica, a captura das imagens foi realizada através de analisador de imagens Olympus.

Para a medida de Microdureza, utilizou-se microdurometro da marca Digimes 1000. Foram realizadas dez medições em cada amostra ao longo da superfície, utilizando-se uma carga de 0,2 kgf. Para o cálculo da quantidade de ferrita foi utilizado um ferritoscópio modelo Fischer FMP30, versão 1.2, e o valor foi comparado com o cálculo da quantidade de ferrita descrita pela fórmula da magnetização de saturação proposta por Tavares, et.al. (2006) [14]:

$$C_\alpha = \frac{M_s}{133} \quad (2)$$

Em que  $C_\alpha$  é a quantidade de ferrita, e  $M_s$  é a magnetização de saturação da amostra analisada.

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam as microestruturas obtidas após os tratamentos térmicos de solubilização à 1050°C e envelhecimento à 850°C para tempos variando de 5 a 180 minutos e uma amostra

solubilizada. Conforme mostra a Figura 1b, não se observa a formação da fase sigma para a amostra envelhecida por 5 minutos; e também se observa que a amostra solubilizada apresenta uma quantidade maior de fase ferrítica (mais escura). Para a amostra envelhecida por 30 minutos (Figura 2d), observou-se a precipitação da fase sigma (regiões mais claras), porém a fração precipitada é muito pequena, o que pode ser comprovado pelo baixo valor de dureza encontrado para esta amostra, enquanto que para a amostra envelhecida por 15 minutos, não se observou a formação desta fase. Nas Figuras 3e e 3f, pode-se verificar que a quantidade de fase sigma precipitada aumentou significativamente para ambas as amostras envelhecidas em comparação com a amostra tratada termicamente por 30min. Para o TT de 180 minutos, observa-se que a fase sigma substitui quase que totalmente a fase ferrita.

Como relatado anteriormente, ocorreu uma maior formação da fase sigma para tempos altos de envelhecimento. Trata-se de uma fase rica de Cr e Mo, que se forma por nucleação e crescimento nos contornos da ferrita/ferrita ou ferrita/austenita [15]. A precipitação da fase sigma diretamente na austenita é em geral muito lenta e exige centenas ou milhares de horas. [16]. Pimenta Jr., et. al. (2000) não observaram a formação da fase Chi ( $\chi$ ) em seu trabalho sobre a precipitação da fase sigma em um aço superferrítico e um aço inoxidável duplex [17], assim como neste trabalho. A ausência de fase chi ( $\chi$ ) no presente trabalho pode ser atribuída a duas causas: esta se forma primeiramente em estágios iniciais de precipitação e serve como sítios de nucleação para a formação da fase sigma. A fase chi não pode ser observada através da técnica de microscopia óptica, mas pode ser facilmente observada em MEV no modo de elétrons retroespalhados, já que esta fase é mais rica do que a fase sigma [18] em molibdênio e outros elementos pesados.

Na Figura 4 é mostrado o gráfico da quantidade de ferrita identificado pelo ferritoscópio e pela fórmula da magnetização de saturação, em função da amostra como recebida, solubilizada e com tratamento térmico de 5 a 180 minutos. Pode-se verificar que com o aumento do tempo de envelhecimento a porcentagem de ferrita diminuiu. Em recente trabalho, Magnabosco, et. al. (2008) relatam as consequências que as variações das frações volumétricas de ferrita e austenita podem causar no aço inoxidável duplex e, assim, desenvolvem estudos a fim de comparar os métodos de quantificação dessas frações [19].

Tem-se a variação da fração de ferrita como principal alteração microestrutural após investigação dos efeitos do envelhecimento entre 550 a 650 °C do aço inoxidável duplex UNS S31803, segundo relatado por Magnabosco e Borba (2008). Para chegarem a esse resultado, os autores utilizaram o recurso da caracterização microestrutural através do método ferritoscópio e estereologia quantitativa. Obteve-se no trabalho acima 64 % de fração por estereologia quantitativa e 42 % de fração de ferrita medida por ferritoscópio [19]. Neste trabalho obteve-se para o material solubilizado uma maior quantidade da fase ferrita  $\alpha$ , porém verificou-se uma diferença entre os valores obtidos pela medida de ferritoscopia em comparação àquela calculada pela fórmula de magnetização de saturação. Esta diferença se deve à diferença de sensibilidade entre as duas técnicas utilizadas. Tanto pela magnetização de saturação quanto pelo ferritoscópio através da medição por indução magnética, a porcentagem de ferrita apresenta a mesma tendência decrescente. Conforme indica o manual do Ferritoscópio Fischer FNP30, amostras com espessura acima de 3 mm não necessitam de correção [20].

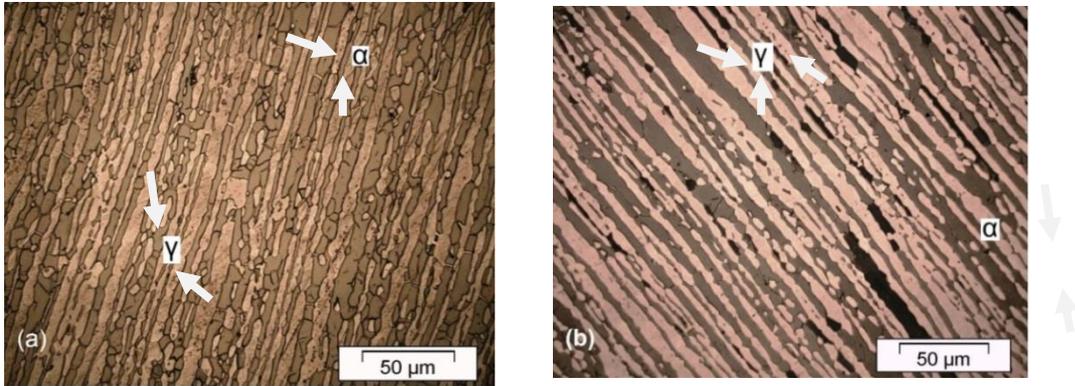
Para a identificação da quantidade de ferrita pelo ferritoscópio foram retiradas 10 medidas e calculados a média, o desvio padrão e a covariância, de acordo com a Tabela 2:

A curva de histerese do aço inoxidável duplex SAF 2205 é observada na Figura 5. Notou-se uma diminuição da magnetização de saturação deste aço após o aumento do tempo de envelhecimento, devido à redução do teor de ferrita e à formação da fase sigma, uma fase não magnética.

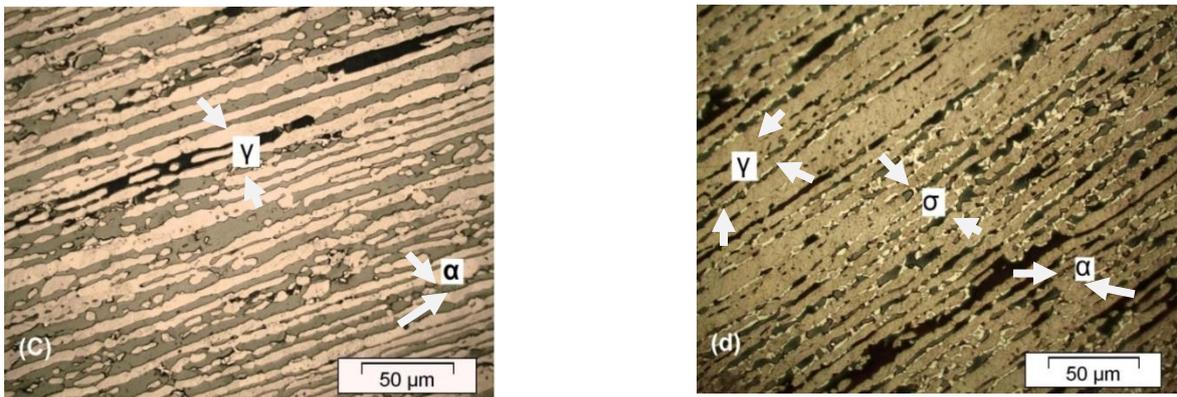
O material, quando solubilizado, apresenta uma magnetização de saturação maior que o material como recebido, o que pode ocorrer devido à formação de uma quantidade maior da fase ferrítica. Segundo Tavares et al (2010) [21], a precipitação das fases  $\sigma$  e  $\chi$  deve diminuir as propriedades magnéticas, sendo a ferrita uma fase ferromagnética e  $\sigma$ ,  $\chi$  e  $\gamma_2$  fases paramagnéticas. De acordo com Kwun e Burkhardt (1987) [22], as propriedades magnéticas de um aço são fortemente dependentes do tipo de material, da composição química de cada material e das propriedades metalúrgicas.

Na Figura 6 observa-se a variação da magnetização de saturação e a microdureza do aço inoxidável duplex UNS S31803 em relação à amostra como recebida, solubilizada e o tratamento térmico de envelhecimento. Como discutido acima, observa-se inicialmente uma redução da magnetização de saturação. A anisotropia constante e a magnetização de saturação, normalmente, diminuem com o aumento da temperatura, devido à agitação térmica que perturba o alinhamento dos momentos magnéticos, além de uma

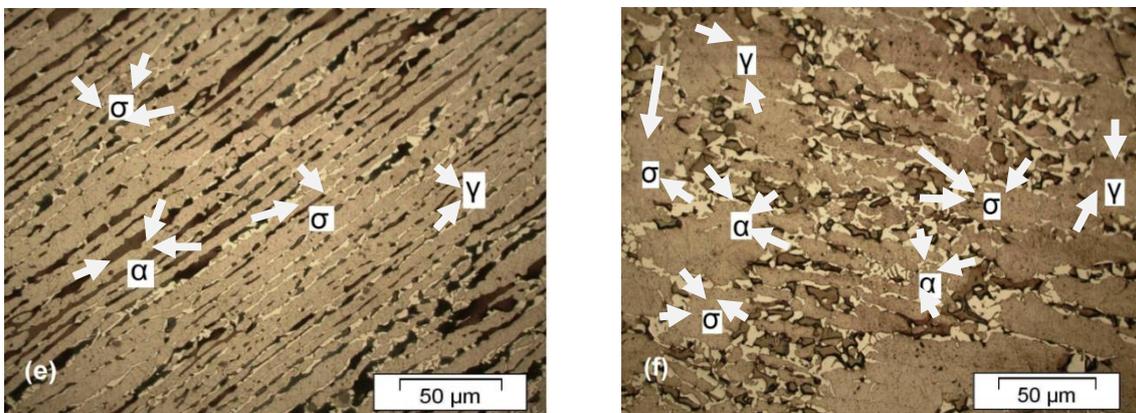
fase ferrítica reduzida e a formação da fase sigma, um composto intermetálico não magnético. Saturação magnética é considerada proporcional ao teor da fase ferrítica. Segundo Tavares, et. al. (2003) as estruturas que passaram por um processo de têmpera contêm grandes quantidades de vacâncias, e é possível que a eliminação de parte destes defeitos promovesse um rearranjo atômico durante o envelhecimento, levando a um aumento da magnetização de saturação destas amostras [23].



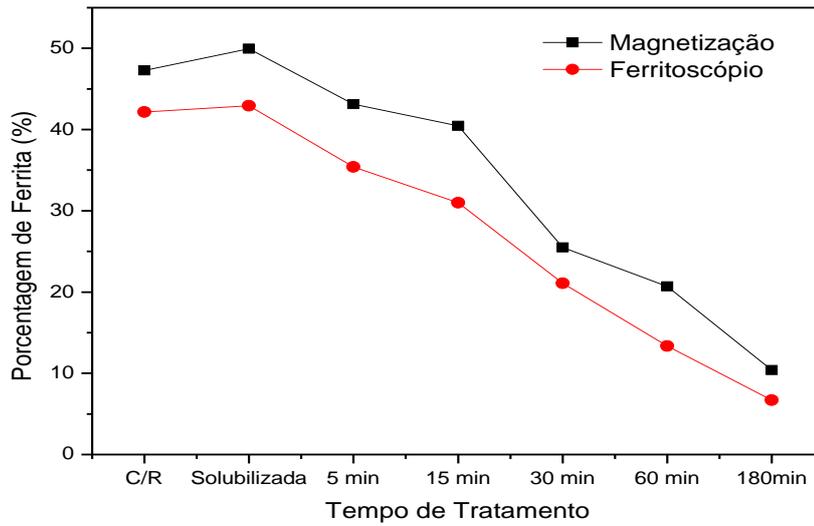
**Figura 1:** Microestrutura do aço UNS S 31803. (a), amostra solubilizada; (b), amostra envelhecida de 5 minutos; onde  $\alpha$  = Ferrita;  $\gamma$  = Austenita.



**Figura 2:** Microestrutura do aço UNS S31803; (c), envelhecimento de 15 minutos; (d), envelhecimento de 30 minutos; onde  $\alpha$  = Ferrita;  $\gamma$  = Austenita e  $\sigma$  = Fase sigma.



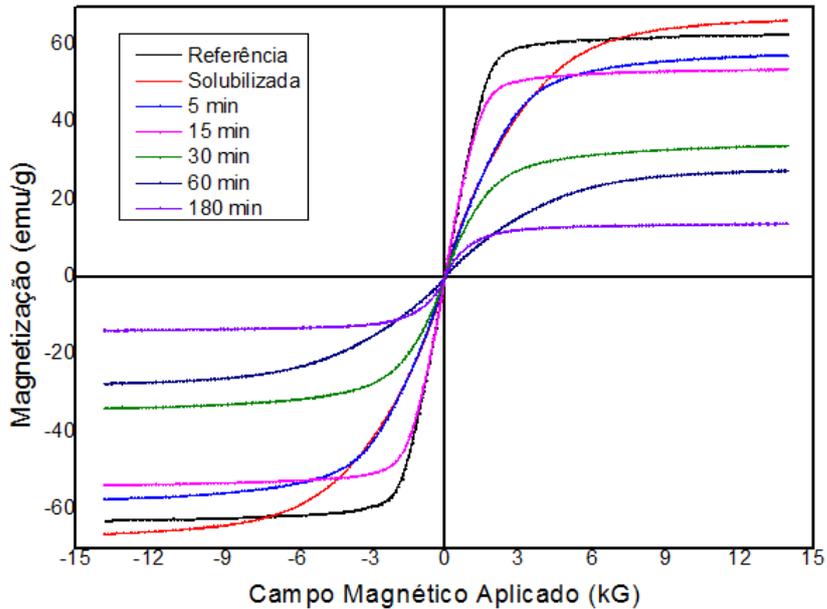
**Figura 3:** Microestrutura do aço UNS S31803. (e), envelhecimento de 60 minutos; (f), envelhecimento de 180 minutos; onde  $\alpha$  = Ferrita;  $\gamma$  = Austenita e  $\sigma$  = Fase sigma.



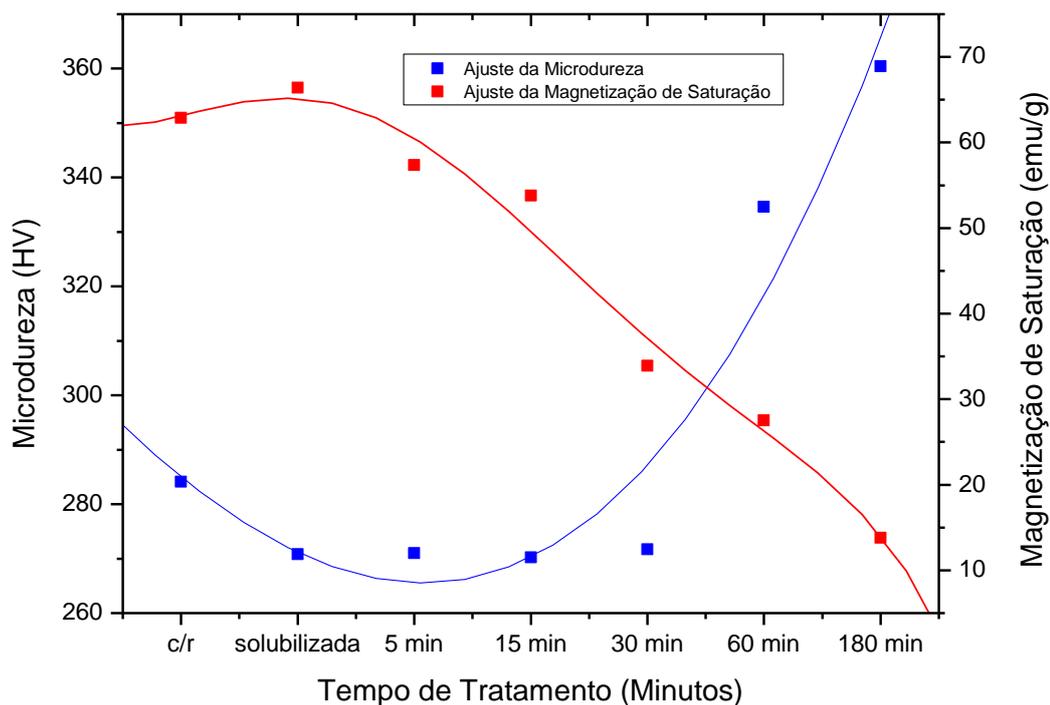
**Figura 4:** Quantidade de ferrita em função da amostra como recebida, solubilizada e com tratamento térmico de envelhecimento de 5 a 180 min.

**Tabela 2:** Quantidade de ferrita medida pelo ferritoscópio modelo Fischer FMP30, versão 1.2

	Recebida	Solubilizada	5 min	15 min	30 min	60 min	180 min
Média	42,15	42,92	35,39	30,99	21,08	13,35	6,68
Desvio	1,48	0,99	0,50	0,52	0,35	0,23	0,09
Covariância	3,52	2,31	1,42	1,67	1,68	1,73	1,31



**Figura 5:** Curva de histerese do aço inoxidável duplex UNS S31803.



**Figura 6:** Variação da magnetização de saturação e da microdureza em relação à variação do tratamento de envelhecimento e solubilização.

Nas amostras envelhecidas, verifica-se uma grande variação da dureza para tempos de envelhecimento altos, acima de 30 minutos; para tempos de envelhecimento baixos não ocorreu uma variação da microdureza, devido à precipitação de uma pequena quantidade de fase sigma. Verificou-se que ocorreu um aumento de 17, 5% da dureza para a amostra com um TT de envelhecimento de 60 minutos e de 26, 9 % para a amostra com um TT de envelhecimento de 180 minutos em relação à amostra como recebida. A formação desta fase deletéria (fase sigma) causa uma diminuição no teor do elemento Cr na ferrita adjacente [24], gerando uma diminuição da resistência à corrosão desta liga.

### 3 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, pode-se concluir que a precipitação da fase sigma alterou de maneira significativa as propriedades mecânicas e magnéticas do aço em estudo. O material em seu estado solubilizado apresenta características ferromagnéticas, as mesmas apresentadas pela fase ferrítica, enquanto que a fase austenítica apresenta um comportamento paramagnético. Com o aumento do tempo de tratamento térmico de envelhecimento ocorre o aumento do percentual de fase sigma acarretando uma diminuição do comportamento ferromagnético, devido à diminuição do percentual de ferrita. Simultaneamente, ocorre um aumento considerável da dureza do material nas amostras envelhecidas por mais que 30 minutos. A porcentagem de fase ferrítica foi calculada através de dois métodos; utilizando um ferritoscópio e através da medição da magnetização de saturação: tendo-se observado, nos dois casos, a diminuição da fase ferromagnética. Observou-se para o material solubilizado uma maior quantidade de ferrita ( $\alpha$ ), porém notou-se uma diferença entre os valores obtidos pelo ferritoscópio em comparação àqueles calculados pela fórmula de magnetização de saturação. Isso se deve à diferença de sensibilidade das técnicas utilizadas.

### 4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à **FAPEMIG, CAPES UNIFEI e CNPq** pelo apoio financeiro.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- [1] NILSSON, J. O., "Super duplex stainless steels", *Materials Science and Technology*, v. 8, n. 8, pp. 685-700, 1992.
- [2] YANG, Y.H., YAN, B., WANG, J., *et al.* "The influence of solution treatment temperature on microstructure and corrosion behavior of high temperature ageing in 25% Cr duplex stainless steel", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 509, n.36, pp. 8870– 8879, 2011.
- [3] ERBING, M.L., GROTH, H.L., "Duplex-un'alternativa all'acciaio inossidabile 316 per il risparmio di peso in applicazioni offshore", *L'acciaio inossidabile*, v. 2, pp.10-13, 1993.
- [4] ECKENROD, J.J., PINNOW, K.E., "Effects of chemical composition and thermal history on the properties of alloy 2205 duplex stainless steel", In: *New developments in stainless steel technology*, pp.77-78, Detroit, USA, , 17-21 Sept. 1984.
- [5] MAGNABOSCO, R., *Influência da Microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205)*, Tese de D.Sc, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2001.
- [6] DAVIS, J.R., *ASM Specially Handbook- stainless steel.*, Ohio , Usa, ASM International, 1994.
- [7] SEDRIKS, A.J., *Corrosion of stainless steels*, 2 ed, John Wiley., New York, 1996.
- [8] TAVARES, S.S.M, TEODÓSIO, J.R., SILVA, M.R., *et al.*, "Influência da Porcentagem de Fases nas propriedades magnéticas e na fragilização a 475° C Do Aço Inoxidável Duplex UNS S31803", In: *15° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais*, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 09-13 Nov. 2002.
- [9] TAVARES, S.S.M, SOUZA, V.M., CÔRTE, R.R.A., *et al.*, "Detecção de pequenos teores de fase sigma e avaliação dos seus efeitos na resistência à corrosão do aço inoxidável duplex UNS S31803". *Engvista*, v. 8, n. 2, pp. 77-82, 2006.
- [10] HOSELITZ, K., *Ferromagnetic Properties of Metals and Alloy.*, London, Oxford Clarendon Press, 1952.
- [11] CHIKAZUMI, S., *Physics of Magnetism*, 1 ed., New York, JohnWiley, 1964.
- [12] SILVA, M.E., *Estudo da correlação entre o aporte térmico, as propriedades magnéticas e a corrosão sob tensão em juntas soldadas de aço inoxidável ferrítico AISI-409*, Tese de D.Sc, Unifei, Itajubá, MG, Brasil, 2011.
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM E-384, *Standard Test Method for micro hardness of materials*, Philadelphia, ASTM, 1989.
- [14] TAVARES, S.S.M, PARDAL, J.M., SOUZA, J.A., *et al.*, "Magnetic phase quantification of the UNS S32750 superduplex stainless steels", *Journal of alloys and Compounds*, v. 416, n. 1-2, pp. 179-182, 2006.
- [15] MARQUES, F., SILVA, W.M., PARDAL, J.M., *et al.*, "Influence of heat treatments on the micro-abrasion wear resistance of a superduplex stainless steel", *Wear*, v. 271, n.9-10, pp. 1288– 1294, 2011.
- [16] WEISS, B., STICKLER, R., "Phase instabilities during high temperature exposure of 316 austenitic stainless steel", *Metallurgical Transactions*, v. 3, n. 4, pp. 851-866, 1972.
- [17] PIMENTA, F.J., REICK, W., PADILHA, A.F., *et al.*, "Estudo Comparativo entre a Precipitação da Fase Sigma em um Aço Inoxidável Superferrítico e em um Aço Inoxidável Dúplex", In: *14° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais*, pp. 33051-30512, São Pedro, São Paulo, Brasil, , 03-06 Dezembro 2000.
- [18] ESCRIBA, D.M., MATERNA-MORRIS, E., PLAUT, R.L., *et al.*, "Intermetallic Phase Precipitation in Duplex Stainless Steels During High Temperature Exposition", *Materials Science Forum*, v. 636-637, pp. 478-484, 2010.
- [19] MAGNABOSCO, R., MÉLO, E.B., SANTOS, D.C., *et al.*, "Estudo comparativo de porcentagem de fração de ferrita de aço inoxidável Dúplex SAF 2205", In: *IX Seminário Brasileiro de aço inoxidável*, pp.22-29, São Paulo, São Paulo, Brasil, 12-14 Nov. 2008.
- [20] FISHER H., *Feritscope® MP30: Measurement of the ferrite content in austenitic and duplex steel*, Sindelfingen, Helmut Fischer , 2010.
- [21] TAVARES, S.S.M., PARDAL, J.M., GUERREIRO, J.L., *et al.*, "Magnetic detection of sigma phase in duplex stainless steel UNS S31803", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 322, n.17, pp. L29– L33, 2010.
- [22] KWUN, H., BURKHARDT, G.L., "Effects of Grain Size, Hardness, and Stress on the Magnetic Hysteresis Loops of Ferromagnetic Steels", *Journal of Applied Physics*, v. 61, n. 4, pp. 1-4, 1987.

- [23] TAVARES, S.S.M., PEDROZA, P.D., MARIA NETO, J., *et al.*, "Magnetic properties of the UNS S39205 duplex stainless steel", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 351, n. 1-2, pp. 283-288, 2003.
- [24] THORVALDSSON, T, ERIKSSON, H., KUTKA, J., *et al.*, "Influence of microstructure on mechanical properties of a duplex stainless", In: *Duplex Stainless Steel Conference*, v. 84, Göteborg, Sweden, 1984.