

TRABALHO DE FORMATURA

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DA TEMPERATURA DE TÊMPERA NA
FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE FERRITA δ PRESENTE NO AÇO INOXIDÁVEL
MARTENSÍTICO AISI 431.

ALUNO: Adriano de Albuquerque Vicente USP 1807093

ORIENTADOR: Ivan Gilberto Sandoval Falleiros

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800004072

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
MATERIAIS E MÉTODOS	2
RESULTADOS E DISCUSSÕES	4
CONCLUSÕES	8
BIBLIOGRAFIA	10
TABELAS	12
FIGURAS	13

I-INTRODUÇÃO

O aço inoxidável martensítico AISI 431, cuja composição nominal é 0,2%C 16%Cr 2%Ni, é uma liga estrutural valiosa, sendo largamente utilizado nas indústrias química, alimentícia, aeronáutica e naval⁽¹⁾. Quando corretamente fundida e processada apresenta resistência e ductilidade isotrópicas⁽²⁾. Fornece a mais alta resistência à corrosão em diversos meios entre todos os aços inoxidáveis martensíticos⁽³⁾. É capaz de atingir níveis de resistência mecânica equivalentes aos atingidos por aços para construção mecânica de mesmo teor de carbono, como por exemplo, limite de escoamento de 1100 MNm⁻²⁽⁴⁾.

Entretanto, o aço inoxidável AISI 431 comercialmente produzido pode conter uma quantidade apreciável de ferrita δ como microconstituente⁽⁵⁾. A presença desta fase limita a utilização deste aço, porque compromete acentuadamente sua conformação a quente⁽⁶⁾, abaixa sua resistência à corrosão e afeta sua soldabilidade.

A Figura 1 é um corte do diagrama de fases do sistema Fe-Cr-Ni-C, onde foram fixados os teores de Cr e Ni em 16% e 2% respectivamente e variou-se o teor de carbono de 0% a 1,2% em peso⁽⁷⁾. Nela observa-se que para a composição 16%Cr 2%Ni 0,2%C existe uma faixa estreita de temperatura onde obtém-se um campo monofásico austenítico (δ).

Pequenas variações na composição ou no tratamento térmico podem causar grandes mudanças na estrutura do aço⁽⁸⁾. O cromo aumenta a tendência a formação de ferrita, diminuindo o

campo da austenita, enquanto o níquel e o carbono aumentam o tamanho do campo da austenita. Alterando a relação destes elementos, pode-se passar de uma liga monofásica austenítica (δ) para uma liga duplex austenítica ferrítica ($\delta + \delta'$)⁽⁴⁾.

O balanço de composição deste aço deve ser equilibrado, pois a adição de elementos austenitizantes, principalmente Ni e C, para evitar a presença de ferrita, pode levar a obtenção de austenita retida, que também é prejudicial as propriedades deste aço⁽⁵⁾.

Portanto, variações de composição e de temperatura de austenitização podem resultar na obtenção de uma estrutura complexa com ferrita, carbonetos e austenita retida, em uma matriz martensítica.

Como consequência, para composições diferentes dentro da faixa comercial do aço AISI 431 e mesmo tratamento térmico, pode-se ter microestruturas distintas, fato que dificulta atingir as propriedades desejadas.

O objetivo deste trabalho é avaliar a variação da fração volumétrica de ferrita δ com a temperatura de austenitização e com a composição química para o aço AISI 431, analisando os efeitos que esta variação causa na dureza e na microestrutura deste aço.

II-MATERIAIS E MÉTODOS

Selecionaram-se duas corridas do aço AISI 431. Retirou-se de cada corrida uma barra laminada redonda de diâmetro 25mm,

que foram identificadas como C1 e C2. As composições das corridas das barras C1 e C2 estão mostradas na tabela 1, que também mostra a composição química nominal AISI e UNS. As barras foram obtidas após terem sofrido tratamento de têmpera e revenimento.

Caracterizou-se a microestrutura inicial do material nas secções transversal e longitudinal através de microscopia óptica.

Cortou-se as barras em provas de aproximadamente 100mm de comprimento. Para garantir um mesmo tratamento de têmpera para as barras das diferentes corridas, amarraram-se as provas duas a duas, sendo uma da C1 e outra da C2, num total de 4 pares. Estes foram austenitizados durante 45 minutos⁽⁹⁾ em temperaturas de 800°C, 980°C, 1025°C, 1200°C e temperados em óleo⁽⁹⁾.

Prepararam-se para análise metalográfica 2 corpos-de-prova por barra para cada temperatura, sendo um na secção transversal e outro na longitudinal. O ataque metalográfico usado foi o Villela.

Utilizou-se o método da contagem sistemática de pontos⁽⁷⁾ para determinar a fração volumétrica de ferrita para as diferentes temperaturas de austenização. A contagem foi feita nas secções transversais e os resultados obtidos foram tratados estatisticamente para um intervalo de confiança 95% e erro relativo de no máximo 10%.

Mediu-se a dureza Rockwell C a meio raio da seção transversal para cada temperatura. Também mediu-se a microdureza Vickers da martensita para cada temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medidas de dureza Rockwell C dos corpos-de-prova estão mostradas no gráfico da figura 2, de dureza em função da temperatura de austenitização para as barras das duas corridas.

Este gráfico mostra que para C1, que não contém ferrita, a dureza HRC aumenta acentuadamente com a temperatura de austenitização até 1025°C, a partir daí a dureza torna-se praticamente constante até a temperatura de 1200°C. Este aumento acentuado de dureza com a temperatura, para a faixa de 800°C até 1025°C, é explicado pelo enriquecimento de carbono da austenita que se transforma em uma estrutura martensítica mais dura quando o material é temperado^(1,4)

Acima de 1050°C como todos os carbonetos estão dissolvidos^(1,4), praticamente todo o carbono da amostra está em solução na austenita e portanto a dureza varia pouco com a temperatura.

Entretanto, para C2, que apresenta ferrita, o gráfico da figura 2 mostra que a dureza HRC aumenta com a temperatura de austenitização até um pico de 47,2HRC para a temperatura de 1025°C, e acima desta temperatura a dureza diminui bruscamente. O aumento inicial é explicado como para C1, e a diminuição da

dureza com o aumento da temperatura de austenitização para temperaturas maiores que 1025°C é causado pelo aumento da fração volumétrica de ferrita $\delta^{(s)}$ de 7% para 39% como está mostrado na figura 3.

Ainda na figura 2 observa-se que a curva da C2 está abaixo da curva da C1, isto mostra que para um mesmo tratamento de têmpera a dureza conseguida em C1 é maior do que em C2, independente da temperatura escolhida.

Com as medidas da microdureza Vickers da fase martensítica obteve-se outro gráfico, figura 4, de microdureza HV em função da temperatura de austenitização. Observa-se neste gráfico que as curvas da C1 e da C2 são parecidas, apresentando um aumento de dureza da fase martensita com a temperatura de tratamento, causado pelo aumento da solubilidade de carbono na austenita com o aumento da temperatura, como explicado anteriormente.

Ainda na figura 4 observa-se que para todas as temperaturas de austenitização estudadas a curva da C2 está abaixo da curva da C1, fato que pode ser atribuído a presença de austenita retida na C2.

Como esta barra contém ferrita δ , a austenita fica enriquecida em carbono e níquel proveniente das regiões de ferrita, o que diminui a temperatura do $M_s^{(1)}$, favorecendo o aparecimento de austenita retida quando este aço é temperado a temperatura ambiente.

Nota-se na figura 4, que o aumento de dureza da martensita da C2 é fracamente pronunciado para temperatura de

1200°C, onde tem-se 30% de ferrita e portanto o aumento do teor de carbono deveria provocar um aumento significativo da dureza da martensita, mas este endurecimento da martensita é contrabalanceado porque uma maior parte da austenita não se transforma em martensita.

Como existe um alinhamento na distribuição da ferrita na direção longitudinal, devido ao material ter sido laminado, e o método da contagem sistemática de pontos só é válido em uma distribuição aleatória da fase a ser contada, a contagem foi feita na seção transversal, que pode ser considerada aleatória.

A variação da fração volumétrica de ferrita com a temperatura de austenitização para a C2 está mostrado na figura 3. As amostras da C1 não contém ferrita.

Nesta figura, pode-se ver que existe uma temperatura entre 1025°C e 1200°C, segundo NING et al.⁽¹⁾ 1100°C, a partir da qual teremos um aumento da porcentagem de ferrita com a temperatura de austenitização. A figura 3 indica que até a temperatura de 1025°C a fração volumétrica de ferrita está em torno de 7% e para 1200°C ocorre um crescimento para 30% de ferrita.

Analisando as Figuras 2, 3 e 4 juntas, observa-se que até a temperatura de austenitização de 1025°C, onde a fração volumétrica de ferrita para C2 está em torno de 7%, a microdureza HV e dureza HRC crescem com a temperatura de austenitização para as barras das duas corridas. Para temperaturas de austenitização acima de 1025°C, na barra C2 a

porcentagem de ferrita e a microdureza da martensita aumentam com a temperatura enquanto a dureza HRC diminui.

Isto indica que para o aço AISI 431 existe uma porcentagem de ferrita entre 7% e 30% abaixo da qual a presença desta fase não é relevante no controle da dureza, mas para porcentagens de ferrita acima deste valor a dureza diminui, ficando esta diminuição relacionada com a quantidade de ferrita presente no aço.

Segundo BROWNRIGG, a quantidade de ferrita δ formada para o aço 431 com uma certa composição química definida é função da temperatura de austenitização, tempo de resfriamento na têmpera e da homogeneidade do aço, pois com uma análise com microsonda é fácil mostrar que as regiões com ferrita δ são ricas em cromo e pobres em níquel.^(*)

SOBOTKA et al. apud BROWNRIGG^(*), desenvolveram uma equação para prever a quantidade de ferrita a 1050°C a partir do teor de cromo equivalente (w), o qual é função da composição química:^(*)

$$w = \%Cr + 1/2*\%Si + 20/3*\%Ti - 2/3*\%Ni - 12*\%C$$

$$\% = 9,09*w - 111,42$$

A aplicação desta fórmula apresentou resultados consistentes para as corridas estudadas, como pode ser visto na tabela 2.

A figura 5 mostra a micrografia do estado inicial das barras C1 e C2 na seção longitudinal. Estas, após laminadas, tinham sofrido tratamento de têmpera e revenimento. Observa-se que as duas barras apresentam estrutura martensítica com

inclusões alongadas de sulfeto, e a grande diferença é a presença de ferrita (campos brancos) na C2.

As micrografias dos corpos-de-prova temperados em óleo a partir das temperaturas de 800°C, 980°C, 1025°C e 1200°C mostrando as secções transversais e logitudinais estão nas figuras 6 a 13.

Nota-se que com o aumento da temperatura de austenitização, a quantidade de ferrita da barra C2 aumenta a partir de uma temperatura entre 1025°C e 1200°C, enquanto que a C1 não apresenta ferrita para as temperaturas estudadas. Na temperatura de 1200°C percebe-se que a ferrita perde um pouco o alinhamento na direcção longitudinal. O tamanho de grão austenítico sofre um aumento com a temperatura, apesar de o ataque usado não delinear nitidamente os contornos de grão.

CONCLUSÕES

1. Para variações de composição dentro da faixa comercial do aço AISI 431, utilizando um mesmo tratamento térmico, conseguem-se pelo menos duas microestruturas diferentes, sendo uma monofásica martensítica (α') e outra duplex martensítica ferrítica ($\alpha' + \delta$).

2. Para a barra C2, que apresenta ferrita, observa-se que para temperatura de austenitização menor do que 1025°C não se tem alteração na fração volumétrica de ferrita δ , mas a partir desta temperatura ocorre um aumento acentuado da fração volumétrica de ferrita com o aumento da temperatura. A barra C1

não apresenta ferrita para nenhuma das temperaturas de austenitização utilizadas.

3. Para a barra C2, até a temperatura de austenitização de 1025°C, a fração volumétrica de ferrita δ está em torno de 7%, e a presença desta fase não é a variável que controla a dureza. Para temperaturas acima de 1025°C a fração volumétrica de ferrita δ aumenta, diminuindo a dureza e esta diminuição está relacionada a quantidade de ferrita presente.

4. Para o aço AISI 431 com composição química dentro da faixa comercial pode-se ter, durante o processamento do material e/ou no produto final, a presença de ferrita δ e austenita retida, o que prejudica a obtenção das propriedades mecânicas desejadas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1-NING, L.; ZHONGGANG, D.; HENGGEN, H. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of martensitic-ferritic stainless steel containing 17%Cr and 2%Ni. IN: Materials Science and Technology, Vol.7, November 1991, 1057-1062.
- 2-ANGSTADT, C.C. How to avoid trouble with type 431 stainless. IN: Metal Progress, June, 1959, 86-91.
- 3-DIETER, G.E.; Effect of microstruture and heat-treatment on the mechanical properties of AISI type 431 stainless steel. IN: Transactions of the ASM, 50, 1958, 722-737.
- 4-PASSOS, S.R.M.; KAJITA, T.; JESZENSKY, G. Algumas considerações metalúrgicas do aço inoxidável AISI 431. IN: XXXV Congresso anual da ABM, vol.2, 1980, 577-594.
- 5-JOHNSON, C.R.; ROSENBERG, S.J. Constitution diagram for 16%Cr-2%Ni stainless steel. IN: Transactions of the ASM, 55, 1962, 277-286.
- 6-BROWNRIGG, A. Transformation characteristics of type 431 stainless steel. IN: Heat Treatment 76 Symposium, Condon 6-7, 1976, 87-93.

7-METALS HANDBOOK, 9ª edição, 626-635.

8-HEAT TREATER'S GUIDE, ASM, 434-435.

9-LOPES, R.G.; GIOSA, J.A. Determinação de ferrita δ em aços inoxidáveis austeníticos mediante microscopia quantitativa. IN: I seminário brasileiro do aço inoxidável, São Paulo, 10 e 11 de outubro de 1989, 79-95.

10-CASTRO, R.; TRICOT, R. Study of the isothermal transformations in 17%Cr stainless steels. Part I, II and III. IN: The metallurgical evolution of stainless steel, Ed. Pickering, F.B., ASM & The Metals Society, 1979, 230-259.

11-RIVLIN, V.G.; RAYNOR, G.V. Phase equilibria in iron ternary alloys. IN: International Metals Reviews, review 248, 1980, Nº 1, 21-37.

elemento	corrida barra C1	corrida barra C2	% nominal
C.....	...0,170...	...0,155...	..max. 0,20
Mn.....	...2,25...	...2,30...	..1,25- 2,50
Cr.....	...15,60...	...16,45...	..15,00-17,00
Si.....	...0,28...	...0,04...	..max. 1,00
Mo.....	...0,82...	...0,05...	..max. 1,00
P.....	...0,024...	...0,029...	..max. 0,040
S.....	...0,028...	...0,020...	..max. 0,030

TABELA 1: resultado da análise química das corridas das barras C1 e C2, e composição química nominal do aço AISI e UNS 431^(*).

	barra C1	barra C2
teor de Cr equivalente	12,2	13,1
% de ferrita a 1050°C	-0,5	7,4

TABELA 2: % de ferrita a 1050°C e teor de cromo equivalente

segundo a equação apresentada por SOBOTKA et al. apud

BROWNRIGG⁽⁴⁾.

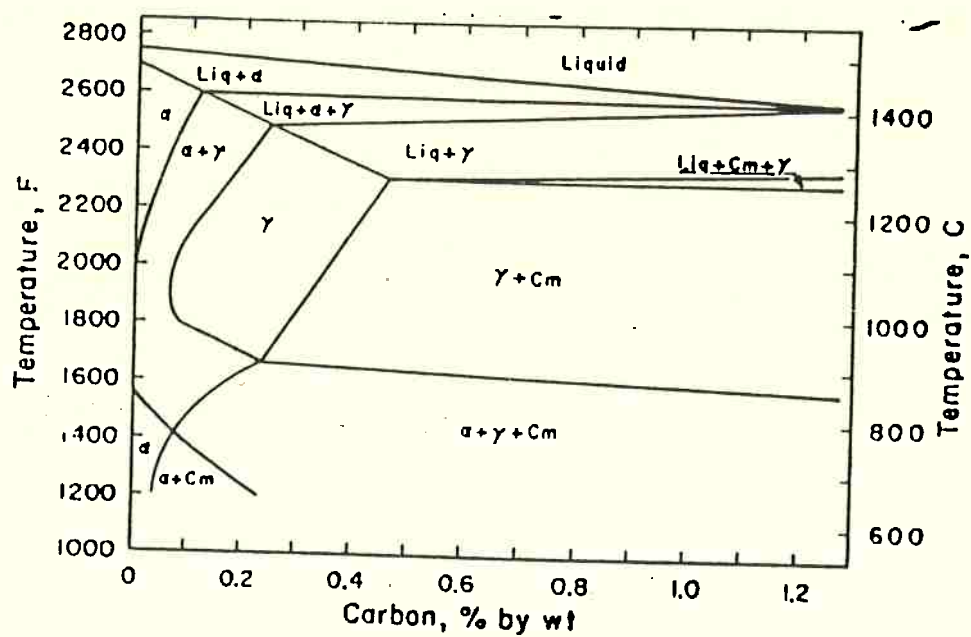


FIGURA 1: corte do diagrama de fases do sistema Fe-Cr-Ni-C, onde foram fixados os teores de 16%Cr 2%Ni e variou-se o teor de carbono de 0% a 1,2% em peso. <3>

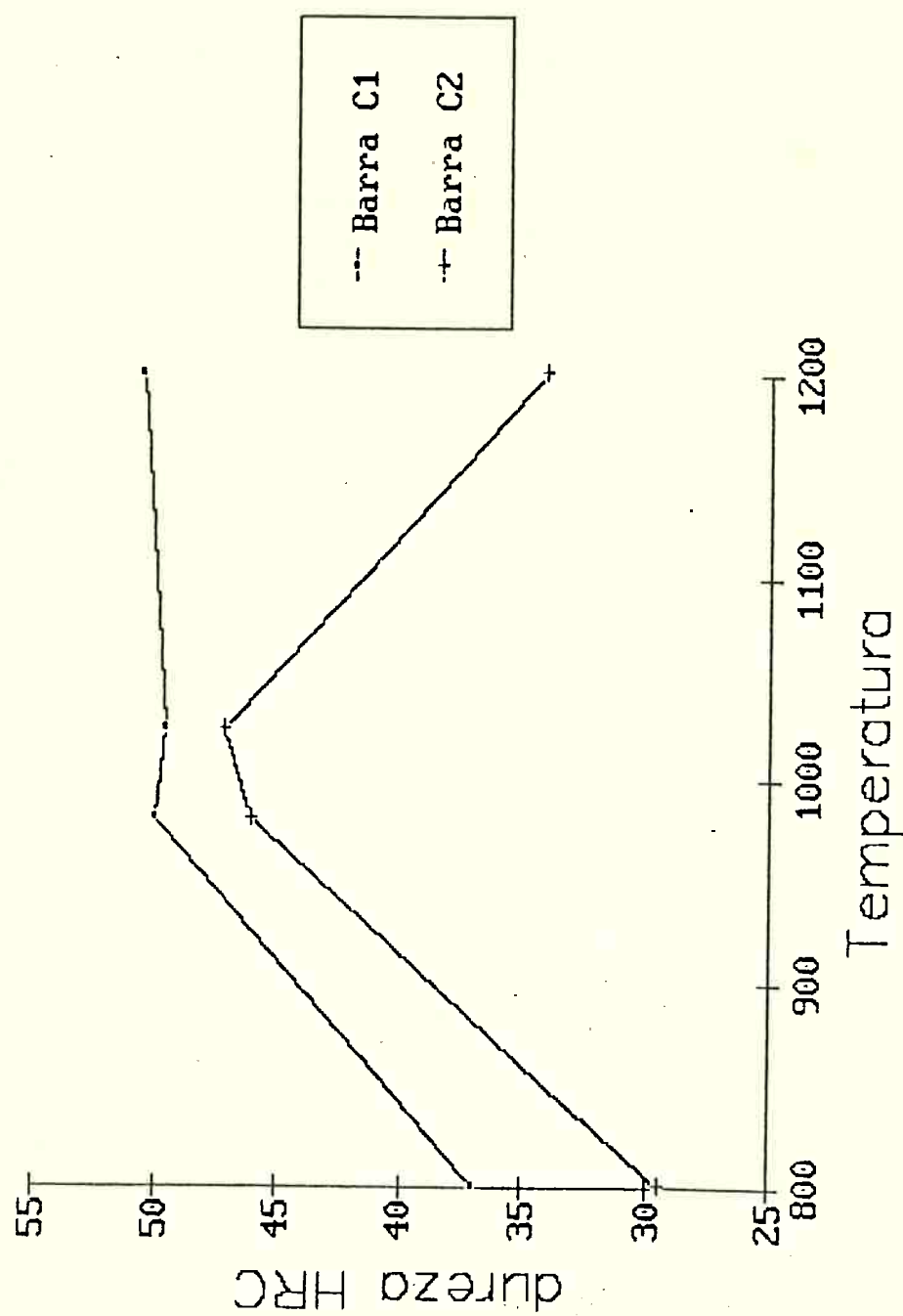


Fig. 2: Dureza Rockwell C em função da temperatura de austenitização

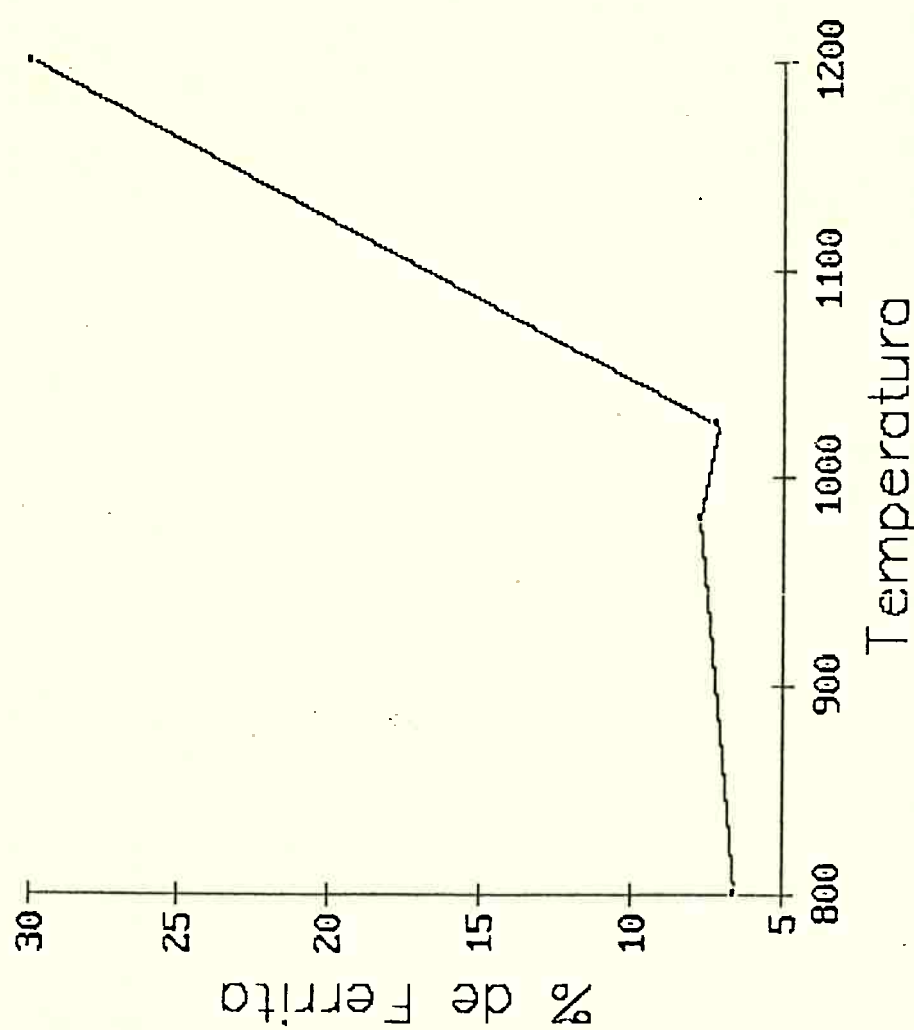


Fig. 3: Porcentagem de ferrita δ em função da temperatura de austenitização. / Barra C2.

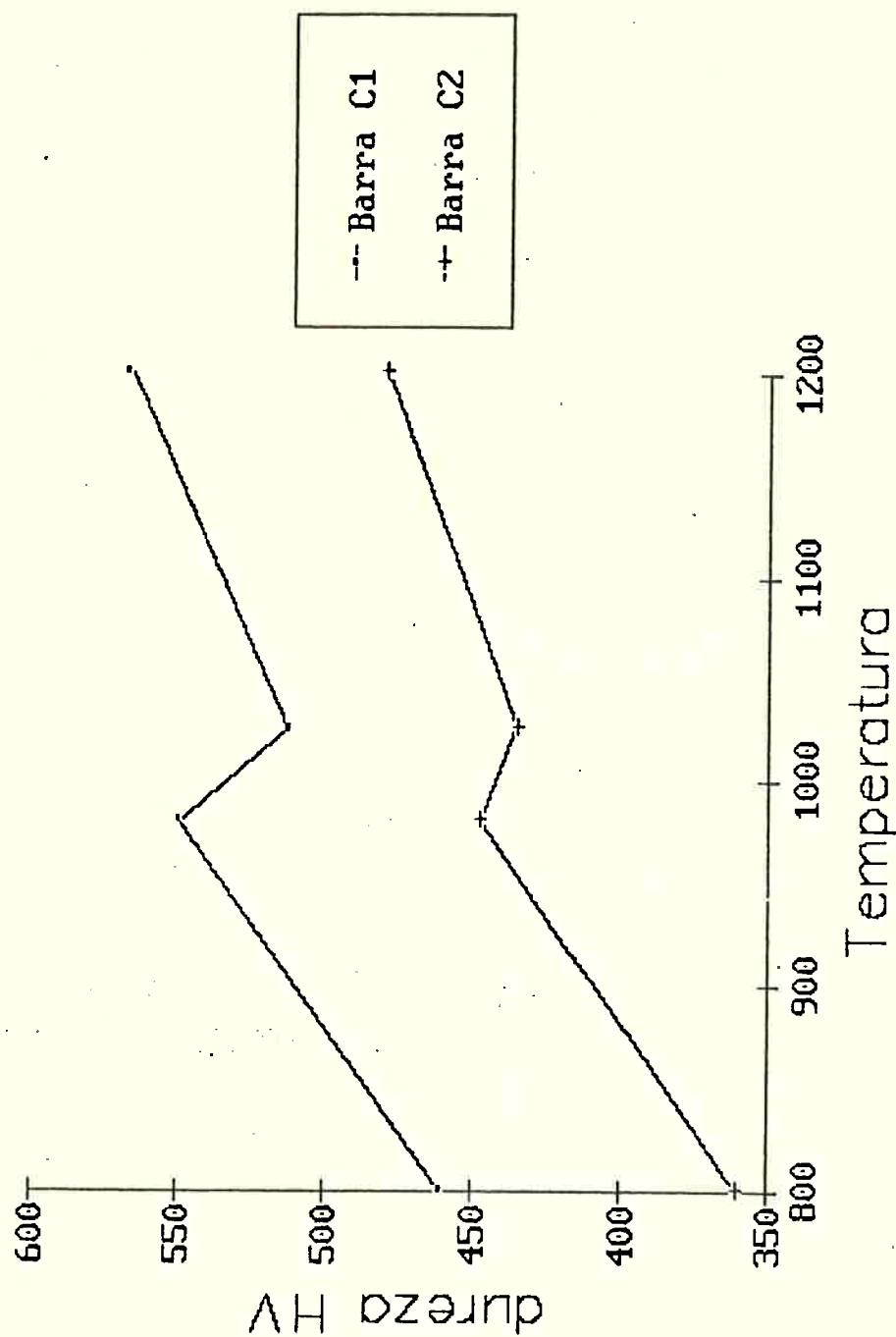
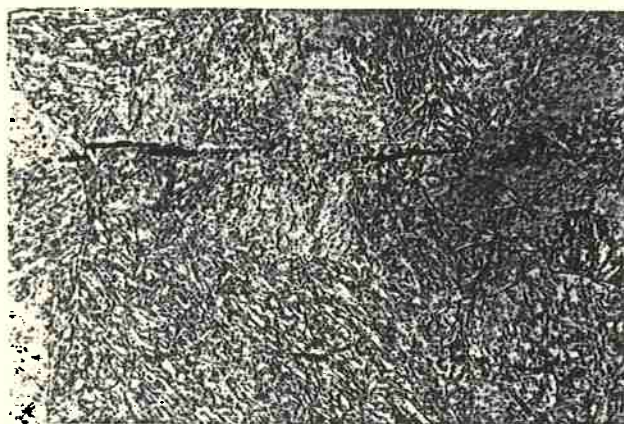
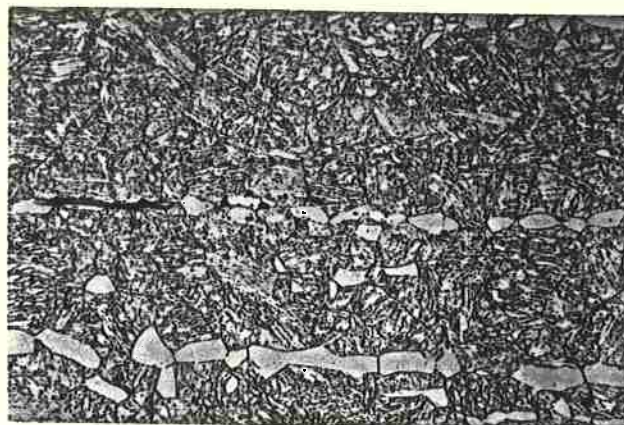


Fig. 4: Microdureza Vickers da fase martensita em função da temperatura de austenitização.

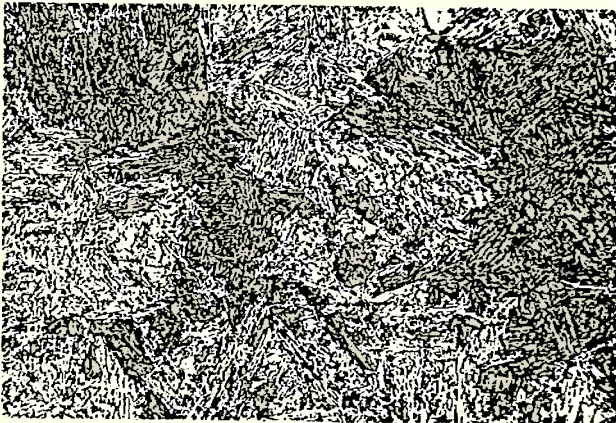


(a)

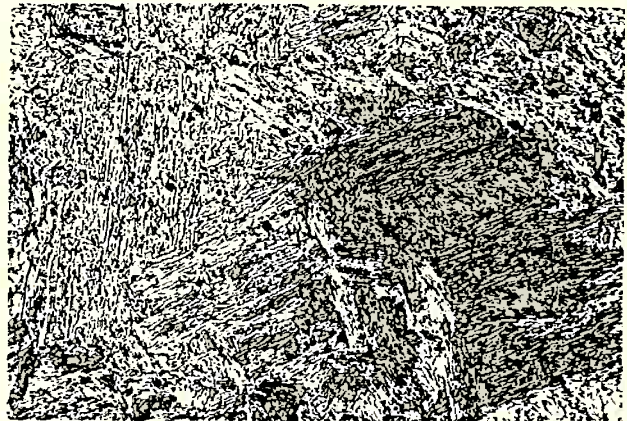


(b)

FIGURA 5: Barras de aço AISI 431 como recebido, no estado temperado e revenido. Ataque eletrolítico com ácido oxálico. Aumento 500x. (a) barra C1, (b) barra C2.

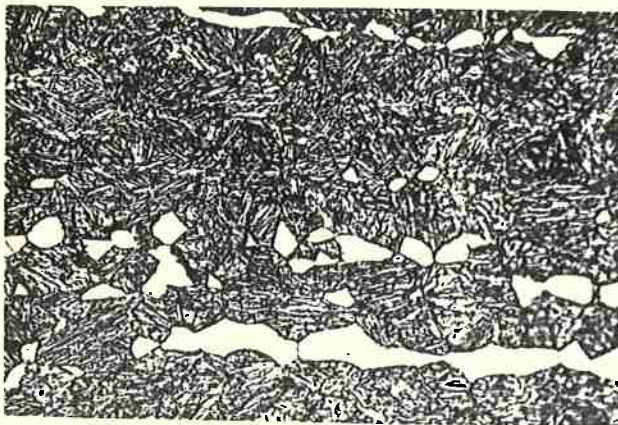


(a)

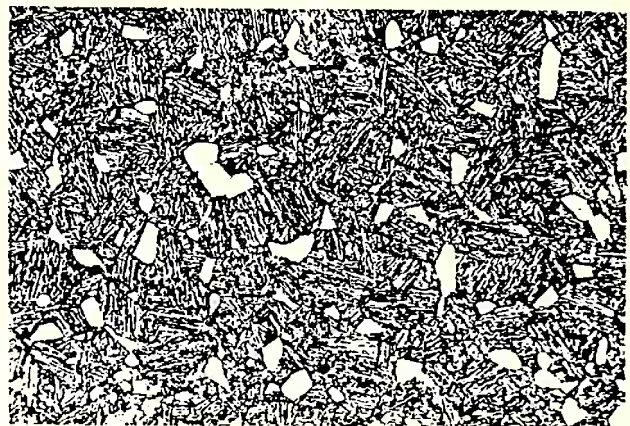


(b)

FIGURA 6: Aço AISI 431, barra C1, austenitizada a 800°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x.
(a) seção longitudinal, (b) seção transversal.

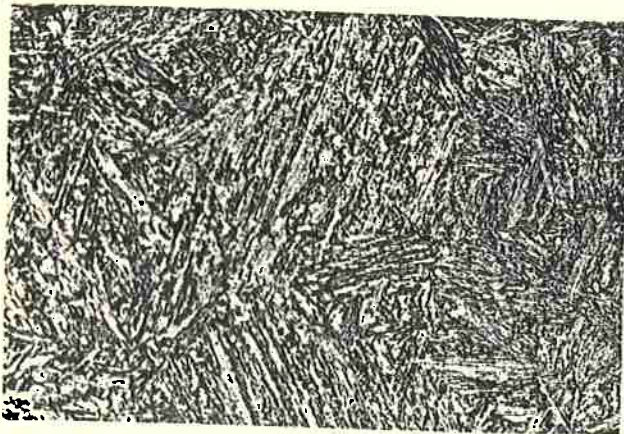


(a)

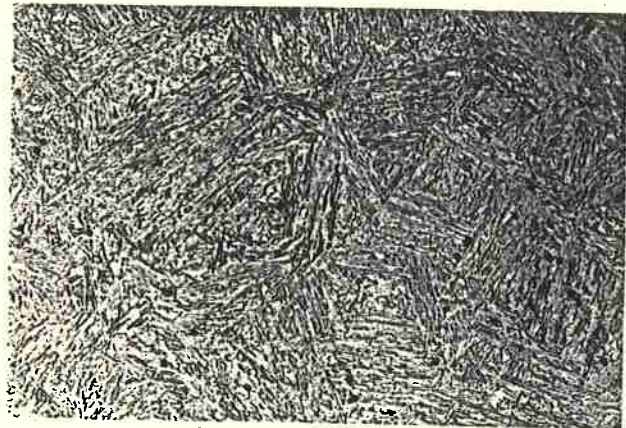


(b)

FIGURA 7: Aço AISI 431, barra C2, austenitizada a 800°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x.
(a) seção longitudinal, (b) seção transversal.

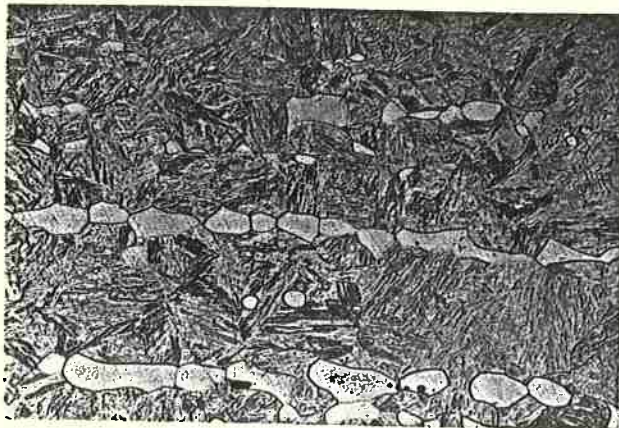


(a)

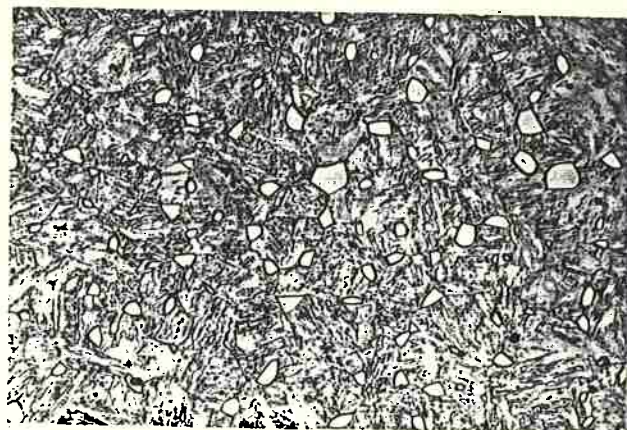


(b)

FIGURA 8: Aço AISI 431, barra C1, austenitizada a 980°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x. (a) seção longitudinal, (b) seção transversal.

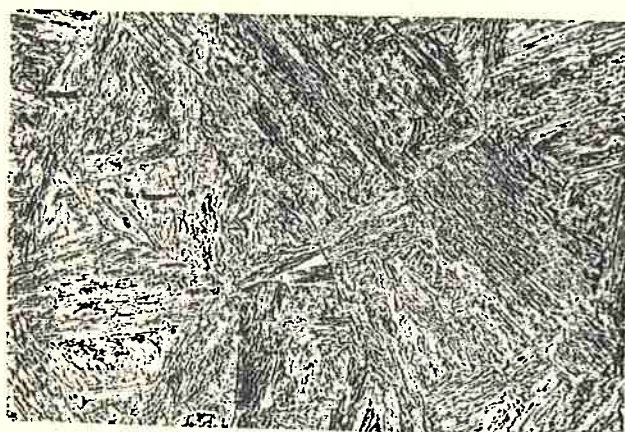


(a)

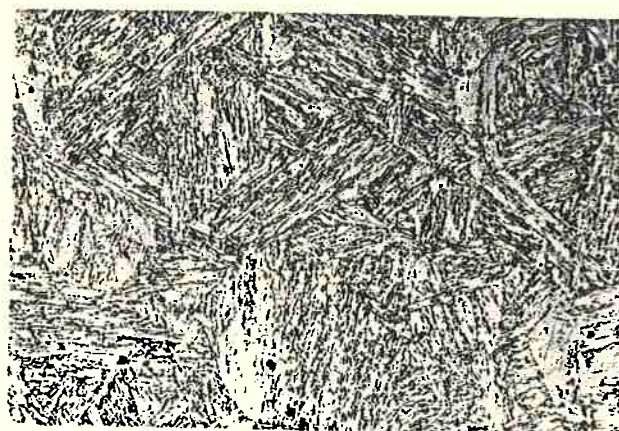


(b)

FIGURA 9: Aço AISI 431, barra C2, austenitizada a 980°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x. (a) seção longitudinal, (b) seção transversal.

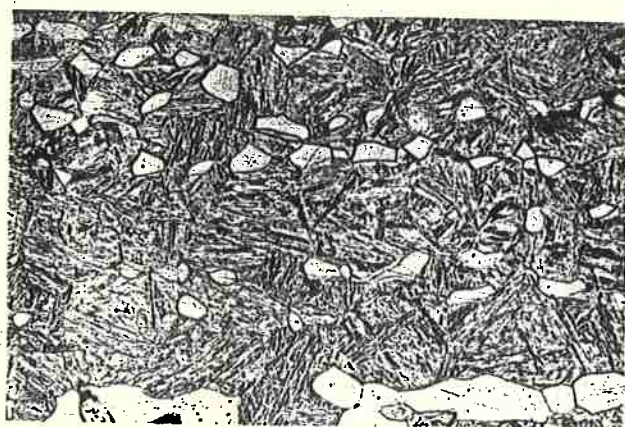


(a)

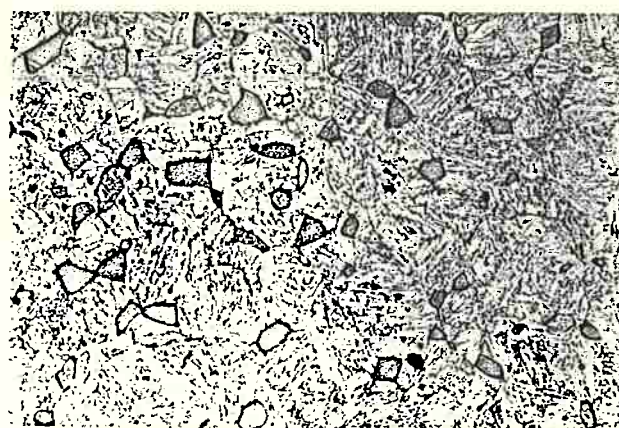


(b)

FIGURA 10: Aço AISI 431, barra C1, austenitizada a 1025°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x. (a) seção longitudinal, (b) seção transversal.

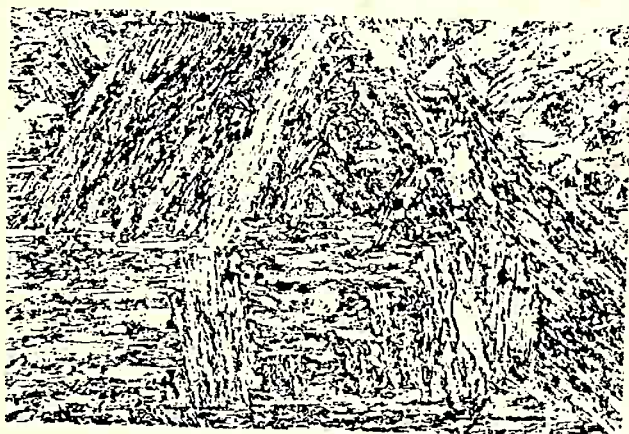


(a)

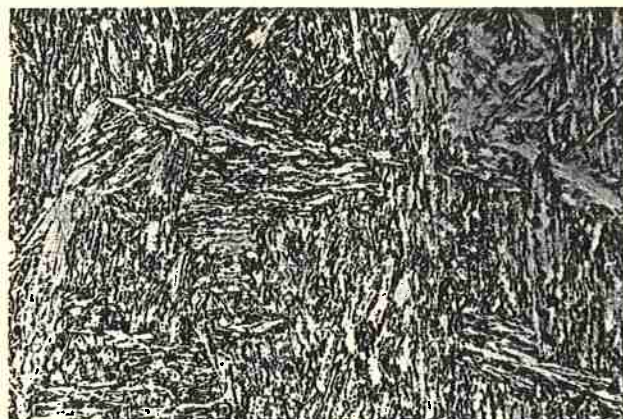


(b)

FIGURA 11: Aço AISI 431, barra C2, austenitizada a 1025°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villela. Aumento 500x. (a) seção longitudinal, (b) seção transversal.



(a)

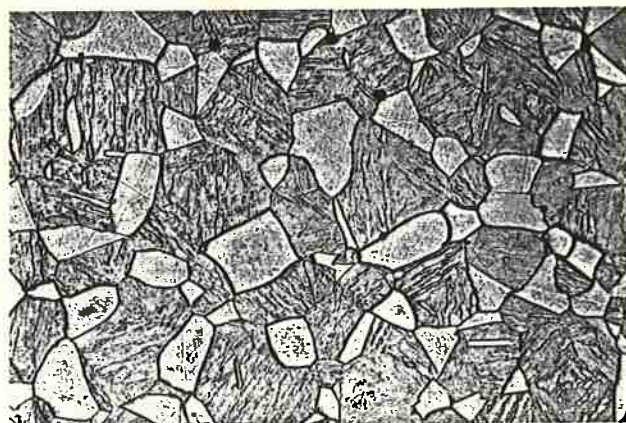


(b)

FIGURA 12: Aço AISI 431, barra C1, austenitizada a 1200°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villiela. Aumento 500x.
(a) seção longitudinal, (b) seção transversal.



(a)



(b)

FIGURA 13: Aço AISI 431, barra C2, austenitizada a 1200°C por 45 minutos e temperada em óleo. Ataque Villiela. Aumento 500x.
(a) seção longitudinal, (b) seção transversal.