

# CURVA TRC E SUA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL PARA UM AÇO MICROLIGADO PARA TUBOS API 5L-X80<sup>1</sup>

M. F. R. González<sup>2</sup>  
F. J.G. Landgraf<sup>2</sup>  
H. Goldenstein<sup>2</sup>  
A.A. Gorni<sup>3</sup>

## RESUMO

*O crescente consumo de energia gerada a partir do petróleo e do gás natural obriga à melhoria das propriedades mecânicas dos aços microligados usados na fabricação de oleodutos e gasodutos. Dentro deste contexto foi realizado um trabalho de caracterização microestrutural do aço API X80 em amostras de aço como recebido e em diferentes condições de resfriamento após austenitização. Para o estudo da cinética das transformações de fase o aço microligado foi submetido a ensaios de dilatométrica sob diferentes taxas de resfriamento, onde se identificaram as temperaturas e tempos de início e fim da transformação da austenita. A partir das diferentes temperaturas e tempos obtidos foi possível determinar a curva de Transformação por Resfriamento Contínuo (TRC) que ajudou a caracterizar a evolução morfológica da matriz ferrítica, agregados eutetóides e do microconstituente austenita/martensita (MA).*

Palavras-Chave: aço microligado; gasodutos; microestrutura.

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de Materiais – CBECiMat, Porto de Galinhas (PE), Novembro de 2008.

<sup>2</sup> Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Av. Professor Mello Moraes 2463, 05508-900 São Paulo SP. E-Mail: [mario.ramirez@poli.usp.br](mailto:mario.ramirez@poli.usp.br)

<sup>3</sup> Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Estrada de Piaçaguiera km 6, 11573-900 Cubatão SP.

## INTRODUÇÃO

O crescente consumo de energia produzida a partir do petróleo e do gás natural no mundo vem obrigado à melhoria das propriedades mecânicas dos aços microligados empregados na construção dos oleodutos e gasodutos, de forma a incrementar o transporte dos combustíveis sob menores custos e maior confiabilidade. Para garantir a melhoria na resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade, é necessário ter um maior controle sobre a formação das fases, agregados eutetóides, microconstituintes e precipitados neste tipo de aço. Dentro deste objetivo foi feita uma caracterização microestrutural de chapa de aço microligado para tubos grau API X80, o qual foi submetido a diferentes taxas de resfriamento contínuo após austenitização, sendo a decomposição de sua austenita monitorada através de ensaios de dilatométrica. Foi possível identificar as temperaturas e tempos de início e fim de transformação da austenita para as diferentes taxas de resfriamento, o que viabilizou a construção da curva de Transformação por Resfriamento Contínuo (TRC) para o aço microligado. Os dados da curva TRC foram discutidos em associação com as microestruturas de cada corpo de prova, utilizando-se microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de varredura com *Field Emission Gun* (FEG) e medidas de microdureza. O estudo permitiu caracterizar a evolução da morfologia da matriz ferrítica, agregados eutetóides como perlita degenerada e do microconstituente austenita/martensita (MA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi estudado um aço microligado para tubos API 5L X80 Nb–V–Ti com baixo teor de carbono, produzido na forma de chapa grossa processada por laminação controlada. O aço foi doado pela Siderúrgica USIMINAS, na forma de chapa com dimensões 1500 X 500 X 19.1 mm<sup>3</sup>. Segundo a Usiminas, o limite de escoamento (LE) deste material foi igual a 562 MPa e o limite de resistência foi igual a 722 MPa. O aço microligado tem como composição química 0,0679 %C, 1,83% Mn, 0,104% Nb+Ti+V, 0,193 %Si, 0,189 %Cr, 0,245 %Mo, 0,0243 %Al, 0,0030 %P. A análise microestrutural do aço microligado foi feita por microscopia ótica usando-se um microscópio OLYMPUS BX60M, câmara Altra 20 e software de imagem GETIT. A

microscopia eletrônica de varredura foi realizada com um microscópio Philips LX30 e a microscopia eletrônica de varredura com FEG através de um equipamento marca Nova Nano SEM-400. As amostras foram lixadas, polidas e atacadas com reagente Nital, 3%. Para determinação das durezas foi utilizado um microdurômetro eletromecânico marca BUEHLER Micromet 2100 com indentador piramidal. Os ensaios de dilatométrica foram feitos aplicando-se ciclos térmicos em corpos de prova cilíndricos com 12 mm de comprimento e 2,2 mm diâmetro do aço microligado para tubos API 5L X80. O equipamento utilizado foi um dilatômetro Adamel Lhomargy DT 1000 com termopar tipo K. O aço foi aquecido a uma taxa de 20°C/s até uma temperatura de austenitização de 900°C durante 120s. O aço então foi o resfriado até a temperatura ambiente de 25°C sob 11 diferentes taxas de resfriamento, a saber: 40°C/s, 30°C/s, 20°C/s, 15°C/s, 10°C/s, 7°C/s, 5°C/s, 3°C/s, 1°C/s, 0,5°C/s e 0,1°C/s. O valor de cada taxa de resfriamento foi mantido constante até que o corpo de prova atingisse a temperatura ambiente. Cada ensaio de dilatométrica foi repetido três vezes usando-se corpos de prova diferentes.

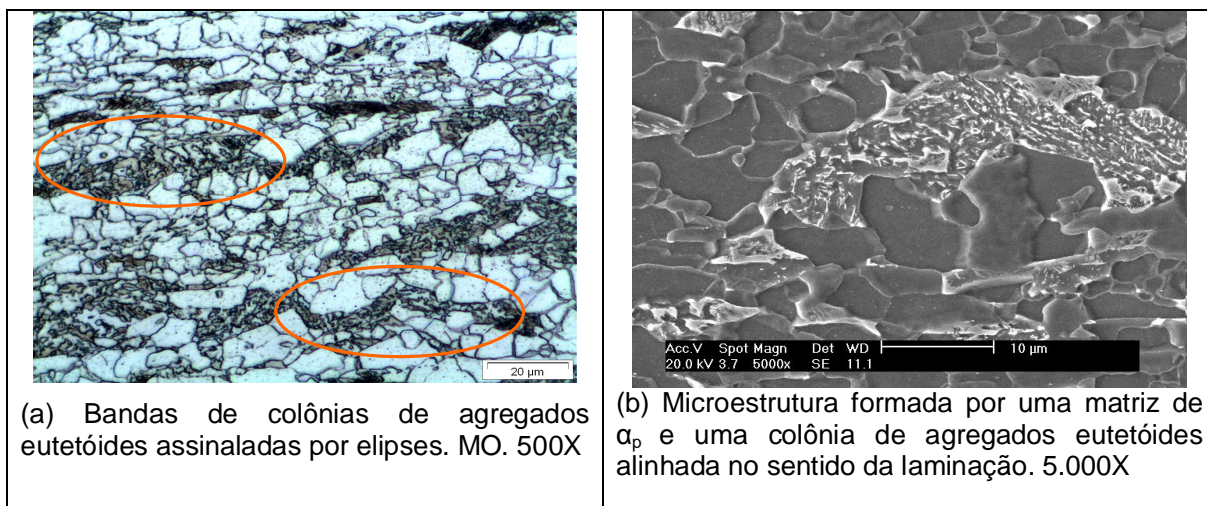
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As micrografias do centro da chapa como laminada, obtidas por microscopia ótica (figura 1a), apresentam microestrutura formada por matriz de ferrita poligonal e agregados eutetóides (ferrita mais cementita). Observou-se que as bandas de agregados eutetóides contêm grãos escuros possivelmente constituídos de perlita. Esse mesmo material foi observado sob maior ampliação através de microscopia eletrônica de varredura, conforme mostrado na figura 1b, onde se observa uma colônia de agregados eutetóides alinhada no sentido da laminação, formada por placas de cementita (cor branca) e ferrita (cor cinza) quando observada por MEV.

### Diagrama de Transformação por Resfriamento Contínuo

Na figura 3 está apresentado o diagrama TRC que descreve a transformação austenítica do aço aqui estudado para diferentes taxas de resfriamento; note-se que os dados não representam o processo controlado de laminação termomecânica. Observa-se nesse diagrama TRC que o aumento da taxa de resfriamento é inversamente proporcional à temperatura  $A_{r3}$  (gráfico 4). Para baixas taxas de resfriamento (entre 0,1°C/s e 7°C/s), a microestrutura é composta de matriz de ferrita

mais perlita em pouca quantidade e possivelmente bainita. Para maiores resfriamentos a microestrutura é formada por matriz de ferrita mais agregado eutetóide compacto possivelmente constituído de bainita. Observa-se que para taxas de resfriamento  $\geq 5^\circ\text{C/s}$  a temperatura  $A_{r3}$  diminuir notavelmente.

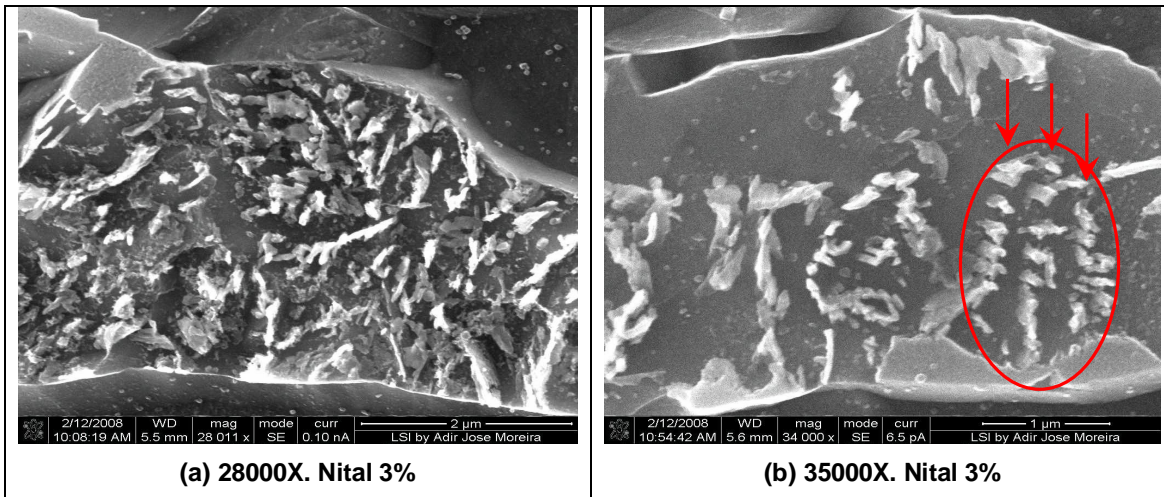


**Figura 1.** Matriz de ferrita poligonal e colônias de agregados eutetóides orientados no sentido da laminação. Reagente nital 3%.

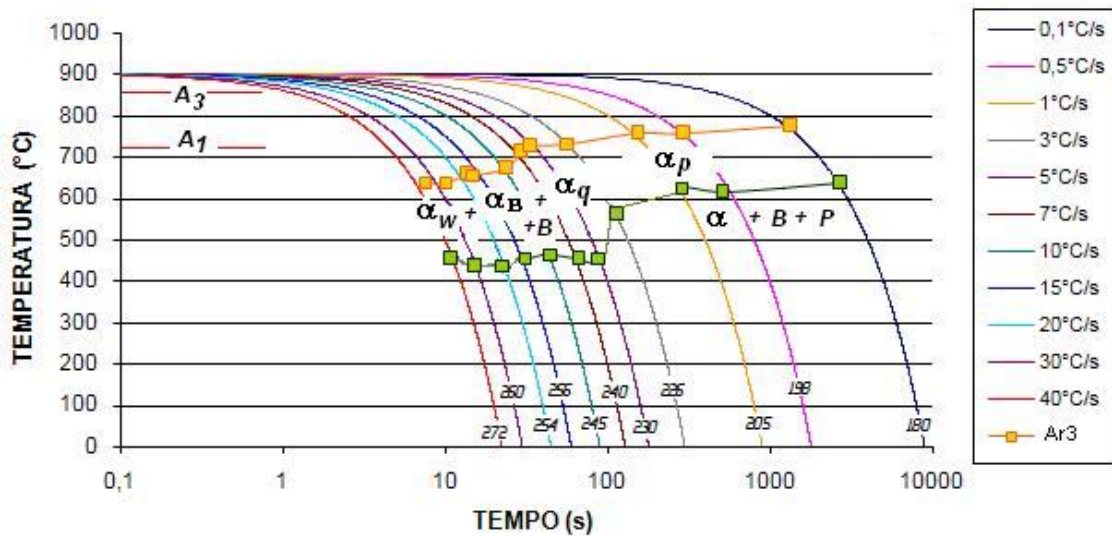
Sob maiores aumentos (imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura com FEG, figuras 2a e 2b), consegue-se uma caracterização mais clara de uma colônia de agregados eutetóides composta por bastonetes brancos em alto relevo, possivelmente constituídos de cementita, separados por ferrita de cor cinza (figura 2a). Com aumentos de 35.000X, observa-se formação de um grupo de bastonetes brancos (assinalados por uma elipse) quase paralelos entre si (figura 2b), o qual se assemelha à perlita degenerada (1) e (2).

#### Análise das microestruturas do diagrama TRC

As imagens obtidas por MEV permitem caracterizar mais detalhadamente os agregados eutetóides e a evolução do tamanho de grão ao longo a das diferentes taxas de resfriamento. Este trabalho não se aprofunda na caracterização do constituinte martensita-austenita (MA), o qual será tratado em outro artigo. As microestruturas discutidas a seguir são as mais representativas dentro da evolução da decomposição da austenita.



**Figura 2.** (a) Colônia de agregados eutetóides composta por bastonetes de cor branca em alto relevo, possivelmente constituídos de cementita, separados por ferrita em cor cinza sobre-atacada. (b) Grupo de bastonetes brancos (assinaladas por uma elipse, quase paralelos entre si, lembrando perlita degenerada. Imagens obtidas através de microscopia eletrônica de varredura com FEG.

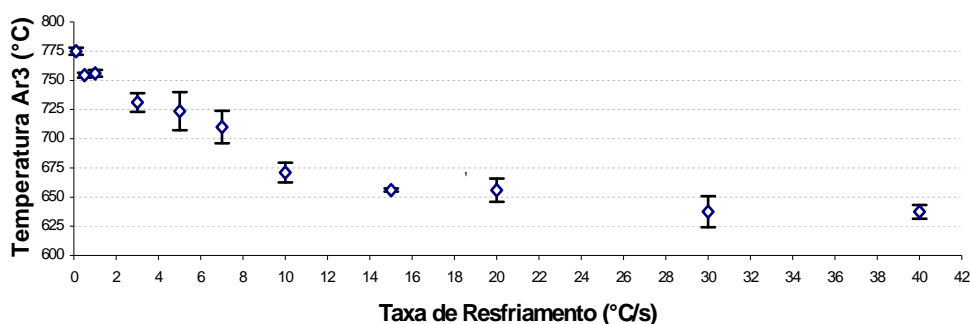


Simbologia:  $\alpha_p$ =Ferrita Poligonal;  $\alpha_q$ =Ferrita quase-poligonal;  $\alpha_w$ =Ferrita Acicular;  $\alpha_B$ =Ferrita Granular;  $\alpha^o_B$ =Ferrita Bainítica;  $\alpha_B$ =Ferrita Bainítica Granular; P=Perlita; P'=Perlita degenerada.

**Figura 3.** Diagrama TRC do aço microligado X80 e valor de dureza obtida para cada taxa de resfriamento.

A microestrutura final obtida sob taxa de resfriamento de 0,5°C/s apresenta matriz de ferrita poligonal com tamanho de grão igual a 5,6  $\mu\text{m}$  (figura 5a). Os agregados eutetóides apresentam lamelas de cor branca, possivelmente constituídas de cementita, junto a lamelas de cor cinza de ferrita (figura 5b), com formato assemelhado ao da perlita degenerada. A fração volumétrica dos

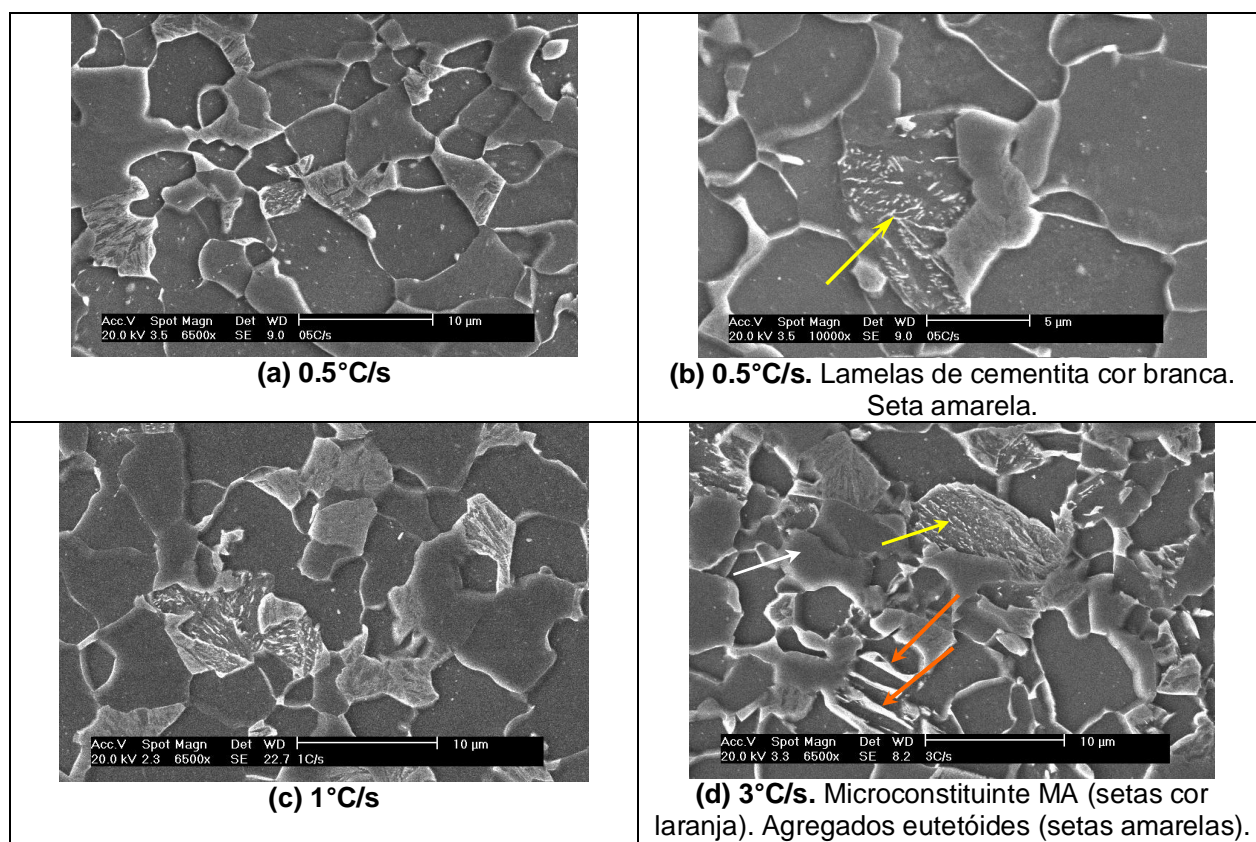
agregados eutetóides estão apresentados na seção da discussão dos resultados na tabela 1. Taxas de resfriamento de 1°C/s formaram microestrutura constituída de ferrita poligonal com tamanho de grão igual a 4,9 μm (figura 5c), não sendo identificada a presença de constituinte MA. Os agregados eutetóides formados sob essa taxa possuem as mesmas características que haviam sido observadas nos que foram formados sob velocidade de resfriamento igual a 0,5°C/s, exceto pela maior separação observada entre as lamelas de ferrita e cementita.



**Figura 4.** Variação da temperatura Ar<sub>3</sub> em função da taxa de resfriamento.

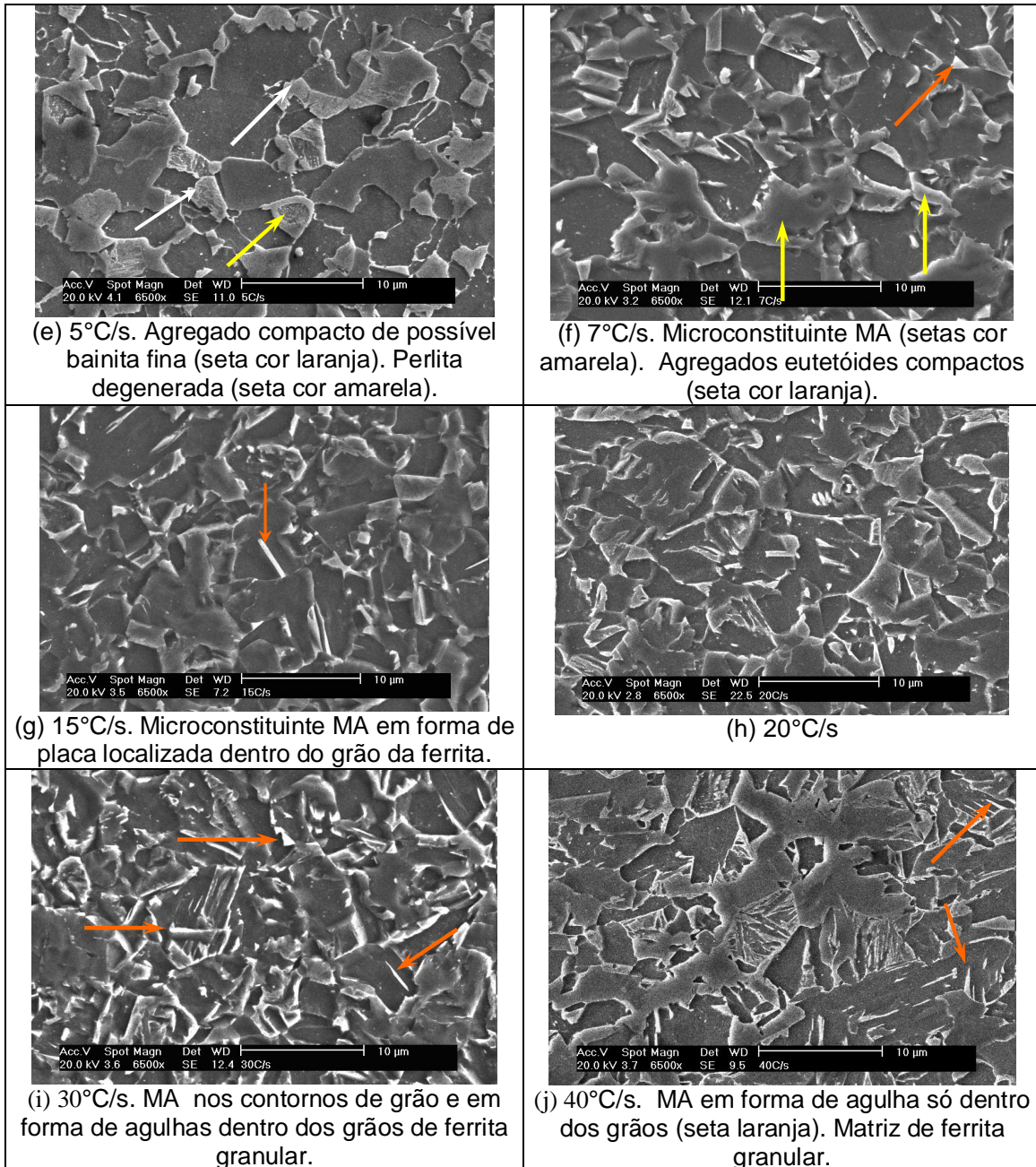
Foi verificado sob taxa de resfriamento de 3°C/s o surgimento de matriz de ferrita poligonal com tamanho de grão praticamente igual ao da condição anterior, 4,7μm. As lamelas brancas de cementita mostraram-se mais refinadas e em menor quantidade do que as lamelas de ferrita em cor cinza (figura 5d seta amarela). Os outros agregados eutetóides não-identificados apresentam superfície compacta (figura 5d, seta branca). O microconstituente MA localizou-se nos contornos de grão em forma de placas (setas cor laranja na figura 5d). Aumentando-se a taxa de resfriamento para 5°C/s verificou-se a formação de ferrita poligonal e, em menor quantidade, ferrita quase poligonal (figura 5e), com tamanho de grão igual a 4,8μm. A morfologia dos agregados eutetóides se conservou, verificando-se também leve refinamento de grão e redução na quantidade de perlita degenerada (seta amarela). Ou seja, iniciou-se a partir dessa taxa o predomínio de agregados eutetóides compactos (setas brancas). As lamelas de cementita e ferrita não são mais observadas para taxa de resfriamento de 7°C/s; além disso, os agregados eutetóides (em alto relevo) são mais compactos, não apresentando definição clara de sua morfologia interna (figura 5f, seta amarela). A matriz é formada por ferrita quase poligonal, ocorrendo ligeira redução no tamanho de grão para 4,4μm.

Observou-se maior quantidade de grãos de MA em cor branca nos contornos do grão (figura 5f, seta laranja) e, pela primeira vez, em forma de pequenas placas de 500 nm de largura no interior do grão de ferrita. Para taxa de resfriamento de 15°C/s a microestrutura foi constituída por matriz de ferrita granular e agregados eutetóides refinados (figura 5g). Observou-se maior quantidade de grãos de MA de cor branca, distribuídos aleatoriamente ao longo dos contornos de grão e em placas finas dentro dos grãos de ferrita.



**Figura 5.** Caracterização microestrutural da decomposição austenítica para diferentes velocidades de resfriamento por MEV. Reagente Nital 3%. 6500X.

Ao se submeter o aço a uma maior taxa de resfriamento, 20°C/s, observou-se um leve refino do tamanho de grão da matriz de ferrita granular, o qual passou a 3,9µm, e dos agregados eutetóides. Observou-se maior fração de microconstituente MA de cor branca, o qual se localizou predominantemente nos contornos de grão, (figura 5h). Foi observada maior quantidade de grãos finos aciculares em forma de agulha de MA com cor branca para taxa de resfriamento de 30°C/s (figura 5i). Estes grãos de MA se localizam preferencialmente nos contornos do grão e alguns poucos dentro dos grãos da matriz de ferrita granular.



**Figura 5 (cont.).** Caracterização microestrutural da decomposição austenítica para diferentes velocidades de resfriamento por MEV. Reagente Nital 3%. 6500X.

Para a máxima velocidade de resfriamento aplicada, 40°C/s, verificou-se a formação de matriz de ferrita granular com tamanho de grão igual a 3,2µm. Constatou-se aumento na fração de constituinte MA com cor branca, cujos grãos estão distribuídos principalmente ao longo dos contornos de grão (figura 5j). O constituinte MA também se apresenta na forma de agulhas dentro dos grãos da matriz. Observou-se maior quantidade de agregados eutetóides compactos, que

ossivelmente são constituídos de bainita inferior, cuja caracterização não foi possível dentro das condições experimentais deste trabalho. Foi verificado que a fração volumétrica dos agregados eutetóides elevou-se à medida em que se aumentou a taxa de resfriamento. Em compensação a fração volumétrica da ferrita diminuiu. Para as taxas de resfriamento entre 0,1°C/s e 10°C/s a fração volumétrica de agregados eutetóides aumentou sensivelmente, passando de 21% para 30%. Essa tendência continuou sob maiores taxas de resfriamento, entre 10°C/s e 40°C/s, ainda que com menor intensidade, já que a fração volumétrica dos agregados passou de 30% para 44%.

## DISCUSSÃO

A microestrutura do aço microligado aqui estudado é multifásica. Nas micrografias obtidas através de microscopia ótica para o aço como recebido (figura 1b) e por microscopia eletrônica de varredura (figura 1b e figura 2), observou-se matriz de ferrita poligonal mais agregados eutetóides cuja morfologia varia conforme a taxa de resfriamento aplicada: perlita degenerada, bainita e/ou microconstituente MA. O tamanho médio do grão da matriz ferrítica do aço como recebido foi igual a 5,1µm que apresenta a mesma ordem de grandeza de valores citados na literatura (5,8 µm para chapas grossas com espessura final de 12,7 mm e 6,9 µm para espessura de 25,4 mm) (3). A fração volumétrica dos agregados eutetóides foi igual a 15%. A literatura revela que também foram encontradas microestruturas de ferrita-bainita com microconstituente MA em aços microligados (5) e (6). O microconstituente MA localiza-se preferencialmente nos contornos do grão e está distribuído homogeneamente sobre a matriz ferrítica.

### Decomposição da austenita durante o resfriamento contínuo.

A evolução da microestrutura dos aços microligados durante o processo de resfriamento controlado é complexa. A curva de transformação TRC (figura 3) do aço em estudo foi determinada aplicando-se taxas de resfriamento entre 0,1°C/s e 40°C/s. Sob baixas taxas de resfriamento a matriz ferrítica evoluiu desde ferrita poligonal para ferrita quase poligonal e ferrita granular, chegando a ferrita acicular sob a taxa máxima de resfriamento de 40°C/s. Esta evolução das características da ferrita é consistente com a verificada em trabalhos da literatura sobre aços

microligados, onde se observam microestruturas constituídas de ferrita poligonal ( $\alpha_p$ ), ferrita acicular (AF) e ferrita-bainita (BF) sob taxas de resfriamento entre 1°C/s e 50°C/s (7). Observou-se também  $\alpha_p$ ,  $\alpha_q$  e ferrita granular ( $\alpha_B$ ) sob taxas de resfriamento entre 0.1°C/s e 34°C/s; para maiores valores, entre 34°C/s e 95°C/s, obtêm-se ferrita bainítica BF e microconstituente MA (6). Assim mesmo geralmente eles se apresentam no diagrama TRC (8) para taxas de resfriamento entre 1°C/s e 100°C/s.

Nos testes de dilatométrica a perlita P não foi detectada, mas foi observada na microestrutura revelada pela MEV sob taxas menores que 7°C/s. A perlita foi observada em trabalhos recentes sobre aços microligados (8) e (7) para taxas menores que 1°C/s. Outras pesquisas relataram o surgimento de perlita para taxas menores que 0,3°C/s (6) ou 0,5°C/s (9). O desaparecimento da P para taxas maiores que 5°C/s é devida ao menor tempo disponível para resfriamento, fazendo com que a austenita se transforme sob menores temperaturas, entrando possivelmente na faixa de transformação da bainita. A tabela 1 apresenta um resumo das características microestruturais obtidas para cada taxa de resfriamento. Elas foram divididas em dois grupos para fins de análise.

Tabela 1. Características microestruturais para cada taxa de resfriamento do aço X80.

Taxa de Resfriamento °C/s	T ( $A_{r3}$ ) °C	Tamanho de Grão da Matriz Ferrítica Um	Fração Volumétrica Agregados Eutetóides %	Dureza HV03	Constituintes
0,1	775	5,7	21	180	$\alpha_p$ , B e P
0,5	755	5,6	24	198	$\alpha_p$ , B e P
1,0	756	4,9	24	205	$\alpha_p$ , B e P
3,0	731	4,7	21	226	$\alpha_p$ , B e P
5,0	724	4,8	19	230	$\alpha_p$ , $\alpha_q$ , B
7,0	710	4,4	22	240	$\alpha_q$ , B
10,0	671	4,4	30	245	$\alpha_B$ , $\alpha_q$ , B
15,0	656	3,8	29	256	$\alpha_B$ , B
20,0	656	3,9	30	254	$\alpha_B$ , B
30,0	637	3,6	42	260	$\alpha_B$ , B
40,0	637	3,2	44	272	$\alpha_B$ , $\alpha_W$ , B
Sem tratamento		5,1	14	227	$\alpha_p$ , B, P

No primeiro grupo (0,5°C/s, 1°C/s, 3°C/s, 5°C/s e 7°C/s) observou-se que, à medida em que se aumenta a velocidade de resfriamento, a temperatura do início de transformação  $A_{r3}$  diminuiu de 775°C (0,1°C/s) para 710°C (7°C/s), verificando-se a maior queda entre 5°C/s e 7°C/s (figura 5). O aumento na taxa de resfriamento refinou o tamanho de grão da matriz ferrítica e mudou a morfologia dos agregados

eutetóides. Nesta faixa de velocidades do primeiro grupo a dureza evoluiu desde 180 HV (0.1°C/s) para 240 HV (7°C/s), com redução no tamanho de grão de 5,7  $\mu\text{m}$  para 4,4  $\mu\text{m}$ ; por sua vez, a fração volumétrica dos agregados eutetóides manteve-se relativamente constante, entre 21% e 22%. A variação nos valores de fração volumétrica dos agregados eutetóides possivelmente decorreu dos diferentes valores de segregação de elementos de liga verificados ao longo da espessura da chapa de onde as amostras foram retiradas aleatoriamente.

Em resumo, para este primeiro grupo de taxas de resfriamento, o aumento no valor desse parâmetro refinou o tamanho de grão de ferrita, de 5.6  $\mu\text{m}$  para 4.4  $\mu\text{m}$  entre 0,5°C/s e 7°C/s respectivamente, o que contribuiu para aumentar a dureza do aço. Nesta faixa de velocidades de resfriamento a matriz de ferrita evoluiu de ferrita poligonal para quase poligonal, com baixa densidade de discordâncias, acompanhada de perlita degenerada e grãos compactos provavelmente constituídos de bainita até 5°C/s. O constituinte MA localizou-se nos contornos de grão e em forma de placas dentro dos grãos de ferrita (figura 5d). Para o segundo grupo de taxas de resfriamento (10°C/s, 15°C/s, 20°C/s, 30°C/s e 40°C/s) a temperatura  $A_{r3}$  continuou diminuindo até atingir valor de 637°C correspondente a 40°C/s. A matriz evoluiu de ferrita quase poligonal para ferrita granular e pequena quantidade de ferrita acicular apresentando refino do tamanho de grão, fator este que, mais uma vez, contribuiu para aumentar a dureza do material. Outra origem para o endurecimento verificado foi o aumento na fração volumétrica dos agregados eutetóide, que evoluiu desde 30% para 44%. A dureza passou de 245 HV (10°C/s) para 272 HV (40°C/s). O aumento da taxa de resfriamento atrasou a transformação da austenita, favorecendo a formação da bainita. O MA localizou-se nos contornos de grão e dentro dos grãos de ferrita com forma de agulhas finas. Sua forma em agulha até certo ponto originou-se a partir dos contornos dos grãos aciculares da matriz ferrítica.. Microconstituente MA menos alongado, também foi observado sob menores taxas de resfriamento(10).

## CONCLUSÕES

A microestrutura do aço X80 é constituída de matriz de ferrita poligonal, agregados eutetóides (possivelmente bainita e/ou perlita) e microconstituente MA. A

caracterização plena dos agregados eutetóides e do microconstituente MA requer o uso da microscopia eletrônica de transmissão (MET), tarefa que será realizada num futuro trabalho.

A morfologia da perlita atacada por nital caracterizou-se pela presença de cementita descontínua de cor branca em forma de bastonetes. Estes bastonetes alinhados podem estar paralelos ou em diferentes orientações junto às lamelas de cor cinza de ferrita.

Foram determinadas as temperaturas e tempos críticos para início e fim de transformação da austenita nos diversos constituintes microestruturais, fazendo uso da dilatométrica apoiada em observações através de MO e MEV. A partir das informações assim conseguidas foi possível determinar o diagrama TRC do aço dentro da faixa de taxas de resfriamento entre 0,1 e 40 °C/s. Embora tenham sido determinadas as temperaturas para início e fim da decomposição da austenita relativas a diferentes taxas de resfriamento, não foi possível distinguir as temperaturas de transformação associadas aos diferentes produtos de transformação.

À medida em que se aumentou a velocidade de resfriamento, a morfologia da ferrita mudou de poligonal para quase poligonal, granular e acicular. Ao mesmo tempo, ocorreu aumento da fração volumétrica dos agregados eutetóides. A perlita formou-se sob velocidades de resfriamento de 0,1°C/s e 5°C/s.

O microconstituente MA progressivamente assumiu a forma de finas placas na matriz ferrítica à medida em que se elevou a taxa de resfriamento. Valores ainda maiores desse parâmetro levaram ao surgimento de finas agulhas de cor branca que crescem intragranularmente.

## AGRADECIMENTOS

À USIMINAS pelo aporte do material e conhecimento. À CAPES pelo apoio econômico.

## REFERÊNCIAS

1. ZAJAC S., SCHWINN AND TACKE V. K. H. Characterisation and Quantification of Complex Bainitic Microstructures in High and Ultra-High

- Strength Linepipe Steels. *Materials Science Forum* Vols. 500-50, pp. 387-39, 2005.
2. SHANMUGAM S.; R. D. K. MISRA.; T. MAMMERING.; D. PANDA.; S. G. JANSTO. Impact Toughness an microstructure relationship in niobium and vanadium microalloyed steel process whit varied cooling rates to similar yield strength. *Materials Science and Engineering. A* 437 p. 436-445. 2006.
  3. GORNI A. A.; REIS J. S. DE S.; DA SILVA C. N. P. e CAVALCANTI S. G. Efeito da Alteração da Espessura de Espera Durante a Laminação Controlada Sobre os Parâmetros Microestruturais de Chapas Grossas Navais. Trabalho apresentado no 50o *Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*, São Pedro SP, 01 a 04 de Agosto de 1995.
  4. HONEYCOMBE R. W. K. Aços, Microestrutura e Propriedades. *Fundação Calouste Gulbenkian*. Cap. 4, p. 91-96. 1982. p.93
  5. BATISTA G. Z.; GUIMARÃES L.; I. DE SOUZA; RIOS P. R. Estudo da correlação Microestrutura – Propriedades Mecânicas de Aço da classe API X80. *58° Congresso Anual da ABM*. Rio de Janeiro. 2003. p. 2958.
  6. CIZEK, P.; WYNNE B.; HODGSON P.; MUDDLE, B. Effect of simulated thermomechanical processing on the transformation characteristics and microstructure of an X80 pipeline steel, *The 1st International Conference on Super-High Strength Steels, Associazione Italiana di Metallurgia*, Italy. 2005.
  7. ZHAO M.C.; YANG K.; XIAO F.R.; SHAN Y.Y. Continuous Cooling Transformation of undeformed and deformed low carbon pipeline steels. *Materials Science and Engineering. A*. 355, p.p. 126-136, 2003.
  8. STALHEIM DOUGLAS G.; BARNES R. KEITH E MCCUTCHEON B. DENNIS. Alloy Desings For High Strength Oil And Gas Transmission Linepipe Steels. *International Symposium on Microalloyed Steel for the Oil and Gas Industry*. TMS The Minerals Metals and Materials Society. 2007. P. 73 – 108.
  9. MANOHAR P. E CHANDRA T. Continuous Cooling Transformation Behavior of High Strength Microalloyed steel for Linepipe Application. Department of Materials Engineering, University of Wollongong. Australia1998.
  10. THOMPSON S. W.; COLVIN D.J. e KRAUSS G. Continuous Cooling Transformation and Microestrutres in Low-Carbon, High-Strength Low-Alloy Plate Steel. *Metallurgical Transactions*. v. 21a, junio. 1990.

**CONTINUOUS COOLING TRANSFORMATION CURVE AND  
MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF MICROALLOYED STEEL FOR  
API 5L-X80 PIPELINE**

ABSTRACT

*The continuous increase of energy supplied by from petroleum and natural gas created the need to improve the mechanical properties of microalloyed steels used in gas and oil pipelines, in order to increase their flow capacity with smaller costs and higher reliability. In this context, a work about the microestrutural characterization of an API X80 grade microalloyed steel was carried out both on an as-received steel sample as in samples submitted to different cooling conditions. The kinetics of*

*austenite transformation was investigated using dilatometric experiments, identifying the temperature and time of start and end of phase transformation at each cooling rate. The determination of such parameters allowed the determination of a Continuous Cooling Transformation curve (CCT) for that steel. The data from CCT curve was compared with the microstructures of each sample through optical and scanning electronic microscopy, characterizing the morphologic evolution of the ferritic matrix, ferrite plus carbide eutectoid aggregates (perlite and bainite) and the martensite/austenite (MA) microconstituent.*

*Keywords: Microalloyed Steel; Pipeline; Microstructure.*