

# DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE DIN EN 10268 Graus H240LA E H360LA NA COSIPA<sup>1</sup>

Antonio Sergio Magnabosco<sup>2</sup>  
Willy Ank de Moraes<sup>3</sup>

## Resumo

Os dois principais motivos para o uso de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) na indústria automobilística é a economia de combustível, em função da redução de peso das partes do veículo e a melhoria no desempenho da segurança, que é determinada pela espessura de projeto do material. Este trabalho relata o desenvolvimento da qualidade DIN EN 10268 (*Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed steels for cold forming*), laminado a frio, na Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, em dois graus: H240LA e H360LA, com Nb+Ti+V ≤ 0,22%.

**Palavras-chave:** Aço ARBL; Indústria automobilística; Aço plano microligado; DIN EN 10268.

## DEVELOPMENT OF DIN EN 10268 GRADE H240LA AND H360LA QUALITY IN COSIPA

### Abstract

Two major drivers for the use of HSLA steels in the automotive industry is fuel efficiency, mainly a function of weight of steel parts, and increased safety performance, which, in turn, is controlled by gauge and design. This contribution reports the development in Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA of cold rolled structural quality DIN EN 10268 - Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed steels for cold forming, for two degree, H240LA and H360LA, with Nb+Ti+V≤0.22%.

**Key words:** HSLA steels; Automotive industry; Microalloyed sheet steel; DIN EN 10268.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engº Metalúrgico, M.Sc., Analista de Produto da Companhia Siderúrgica Paulista - Cosipa

<sup>3</sup> Engº Metalúrgico, M.Sc., Doutorando, Analista de Produto da Companhia Siderúrgica Paulista – Cosipa -, professor da Universidade Santa Cecília.

# 1 INTRODUÇÃO

Justifica-se o explosivo desenvolvimento e o emprego de aços alta resistência baixa liga (HSLA) aplicados na indústria automotiva pela busca de economia de combustível e de aumento da segurança do veículo.<sup>(1)</sup> A possibilidade do emprego de chapas mais finas de materiais mais resistentes leva a diminuição do peso do veículo e, conseqüentemente, menor consumo de combustível, contribuindo para a preservação da natureza. Além disso, estes materiais absorvem melhor o impacto, garantindo maior segurança ao passageiro.

A resistência mecânica dos materiais é fortemente dependente de sua microestrutura,<sup>(2)</sup> sendo que os principais mecanismos de endurecimento são:<sup>(3)</sup>

- a) Refino de grãos;
- b) Encruamento mecânico, onde a resistência mecânica aumenta com o aumento de defeitos cristalinos presentes no material (discordâncias);
- c) Dispersão de soluto, átomos intersticiais ou substitucionais, em solução sólida;
- d) Precipitação;
- e) Mistura de fases;
- f) Transformação de fases (martensítica);
- g) Reforçamento por textura cristalina; e
- h) Outros mecanismos secundários.

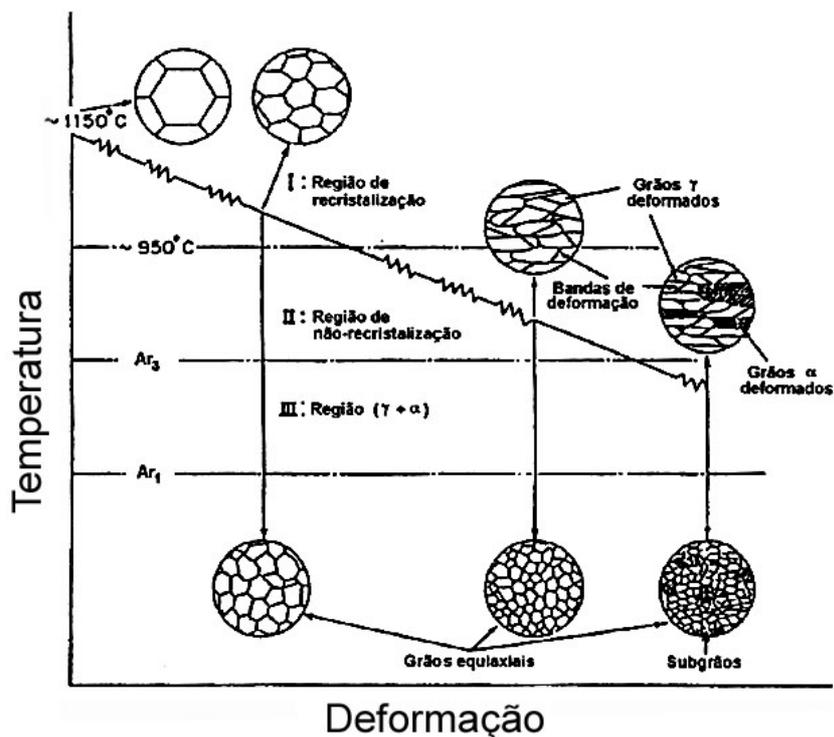
Para os aços de baixo C e os de alta resistência convencionais, adições de elementos microligantes, tais como Nb, Ti e V, são a base do controle microestrutural e, portanto, das propriedades mecânicas.

A temperatura de não-recristalização da austenita é definida como sendo aquela abaixo da qual a recristalização da austenita passa a ter atraso, devido à formação de precipitados dos elementos microligantes. Existem várias equações para seu cálculo, tal como a Eq. 1, de Borato.<sup>(4)</sup>

$$T_{nr} = 887 + 464C(6445Nb - 644\sqrt{Nb}) + (732V - 230\sqrt{V}) + 890Ti + 363Al - 357Si \quad \text{Eq. 1}$$

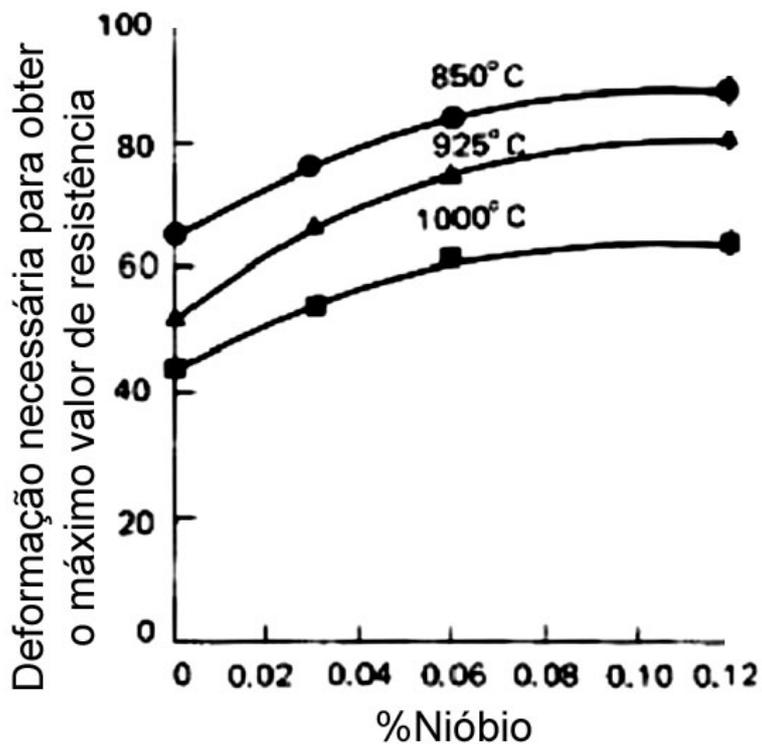
Durante a laminação de tiras a quente, o Nb, em menor proporção, o Ti e o V e, algumas vezes, o B, combinam-se com N e com o C, formando precipitados. Isto leva ao encruamento por precipitação. Além disso, estes precipitados “pinam” as discordâncias geradas durante o processamento a quente, barrando o crescimento de novos grãos, durante o processo de recristalização. Se a temperatura do processo é abaixo de um valor crítico, pode ser que não haja a recristalização total. Durante a transformação para ferrita, é maior a energia armazenada em uma microestrutura parcialmente recristalizada, acelerando a nucleação e, portanto, levando a um pequeno tamanho de grão ferrítico.<sup>(5)</sup>

A Figura 1 mostra, esquematicamente, as etapas da laminação a quente e a evolução microestrutural de um aço.<sup>(6)</sup> Para objetivar maior resistência, portanto, é interessante que a temperatura de fim da laminação seja inferior à de não-recristalização da austenita.



**Figura 1** - Desenho esquemático das etapas da laminação a quente de um aço, adaptado de Ladgraff et al.<sup>(6)</sup>

A Figura 2 mostra o efeito do teor de Nb sobre as propriedades de tração a quente para um aço C.



**Figura 2** - Efeito do Nb sobre a resistência mecânica a quente, adaptado de Panigrahi.<sup>(4)</sup>

A Figura 3 mostra o efeito do teor de Nb sobre o atraso na recristalização, durante a laminação a quente.

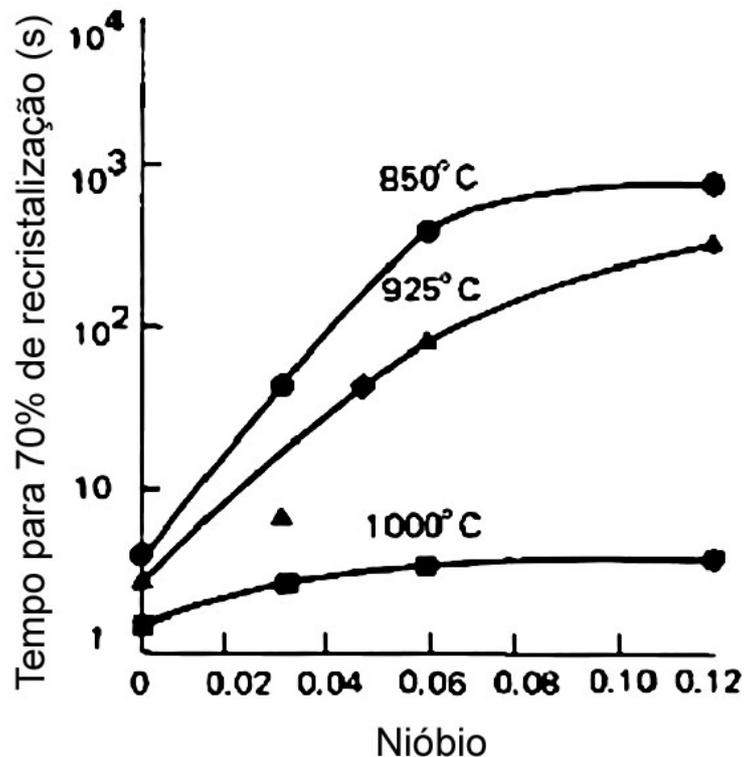
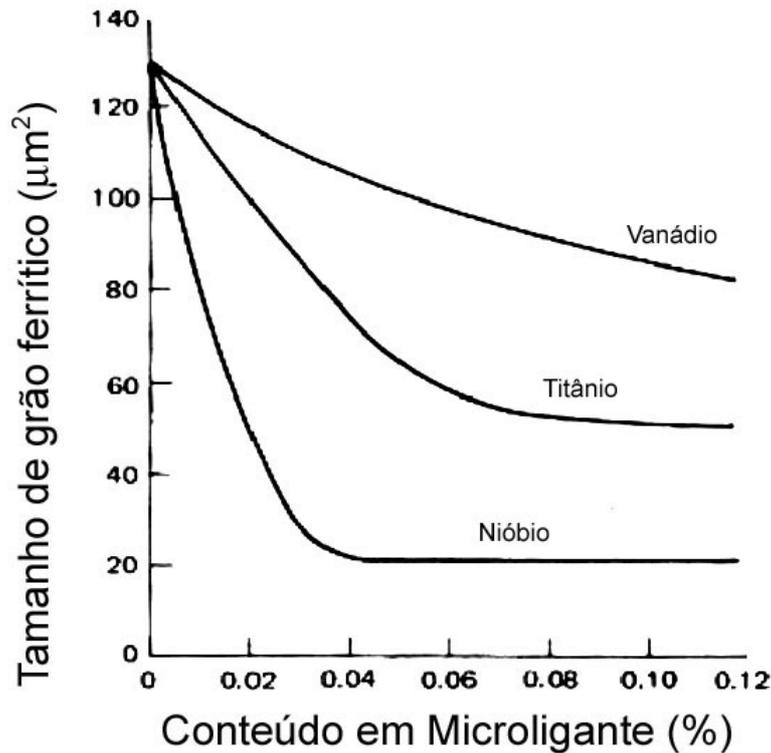


Figura 3 - Influência do teor de Nb sobre o tempo de recristalização, adaptado de Panigrahi.<sup>(4)</sup>

Em vista do atraso na recristalização e do encruamento da austenita e/ou da ferrita transformada promovidos pelos microligantes, o tamanho de grão ferrítico diminui (conforme já mostrado na Figura 1). Contudo, acima de um determinado teor de elemento microligante, seu efeito deixa de ser progressivo, uma vez que os precipitados adquirem um tamanho tal que se tornam ineficientes para o ancoramento de discordâncias. Isto é mostrado na Figura 4.

A densidade de discordâncias no grão deformado a frio é inversamente proporcional do diâmetro do grão.<sup>(7)</sup> Assim, quando se tem aços microligados, a energia interna armazenada para uma determinada quantidade de deformação a frio é maior. Conseqüentemente, por ocasião do recozimento, a taxa de nucleação é maior, havendo um refino de grãos do material recristalizado. Além disso, os precipitados que porventura venham a ocorrer no recozimento retardam a recristalização e tem-se uma situação similar à de um ciclo de recozimento menor. Então, há um aumento da resistência mecânica do material laminado a frio, quando comparado com outro sem adição de microligantes.



**Figura 4** - Efeito dos elementos de liga sobre o tamanho de grão ferrítico, adaptado de Panigrahi.<sup>(4)</sup>

Isto é descrito analiticamente, com exatidão satisfatória, pela Eq. 2, de Hall-Petch.<sup>(3,8,9)</sup>

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

**Eq. 2**

Onde  $\sigma_0$  é a *tensão de atrito*, valor necessário para mover as discordâncias móveis. Por sua vez,  $k$  é uma medida da extensão do empilhamento de discordâncias em barreiras, praticamente independente da temperatura, da composição e da velocidade de deformação, sendo resultado da multiplicação de discordâncias com a continuidade da deformação.

A norma DIN EN 10268, *Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed steels for cold forming*, padroniza aços laminados a frio com boa conformabilidade a frio, destinados a estruturas automotivas. Regulamenta quatro graus, com as exigências de propriedades mecânicas mostradas na Tabela 1.

**Para tanto, a norma exige que os aços sejam microligados ao Nb, e/ou ao Ti e/ou ao V e que obedçam às restrições mostradas na Tabela 2.**

**Tabela 1 - Exigências normativas de propriedades mecânicas.** <sup>(10)</sup>

GRAU	LE (MPa), 0,2%		LR (MPa), long	Alongamento mínimo %		Dobramento, 180°; e=espessura; direção DT		
	MÍN long	MÁX		MÍN	Base de medida = 80, long		Base de medida = 50, long	
		LONG						TRANS
H240 LA	240	310	330	340	27	29	0e	
H280 LA	280	360	380	370	24	26	0e	
H320 LA	320	410	440	400	22	24	0e	
H360 LA	360	460	500	430	20	22	0,5e	

Valores de LE médidos em CPs transversais à DL são tidos como referenciais.

**Tabela 2 - Restrições de composição química impostas pela norma DIN EN 10268.** <sup>(10)</sup>

Grau da Norma	Composição química de panela (% em peso)							
	C, máx	Mn, máx	P, máx	S, máx	Si, máx	Al, mín	Nb, máx	Ti, máx
H240 LA	0,10	0,60	0,025	0,025	0,50	0,015	0,090	0,150
H280 LA	0,10	0,80	0,025	0,025	0,50	0,015	0,090	0,150
H320 LA	0,10	1,00	0,025	0,025	0,50	0,015	0,090	0,150
H360 LA	0,10	1,20	0,025	0,025	0,50	0,015	0,090	0,150

Para todos os graus: Nb + Ti + V ≤ 0,22%

A Figura 5 mostra um exemplo de aplicação para o grau H240LA, utilizado em carro da Volkswagen do Brasil Ltda.

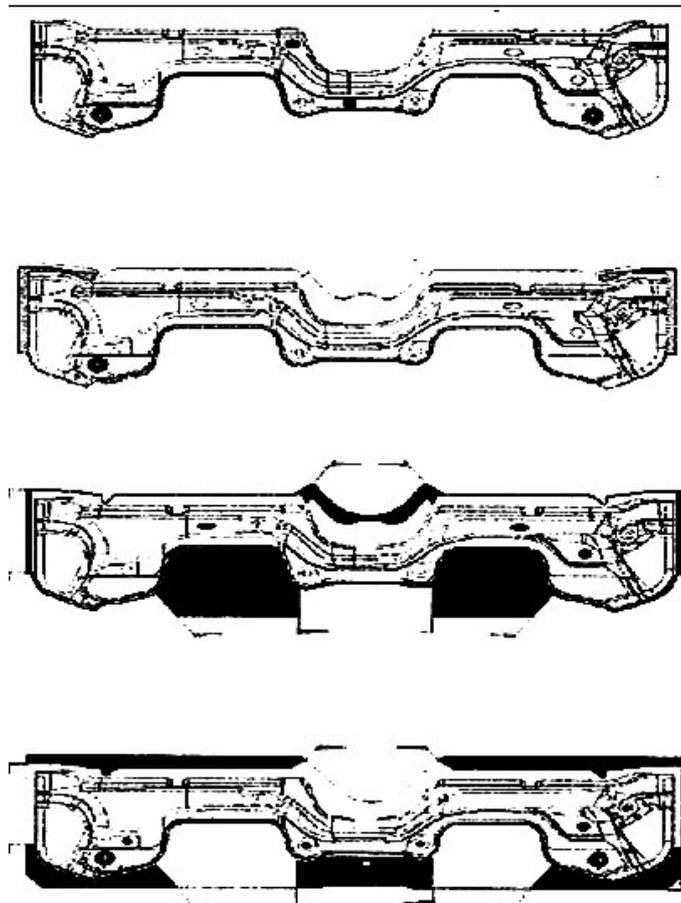


Figura 5 - Peça de carro da Volkswagen do Brasil Ltda. que utiliza o grau H240LA.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Fez-se o desenvolvimento para os graus H240LA e H360LA, por serem os dois graus que interessam ao maior cliente em potencial, Volkswagen do Brasil Ltda. Desenvolveu-se um projeto de liga e dos parâmetros de laminação baseando-se nas indicações da literatura técnica apontadas na introdução deste trabalho, bem como a experiência com outros aços e qualidades já desenvolvidos na Cosipa. Após planejamento consistente com as limitações dos equipamentos industriais, fez-se a produção dos dois graus, em escala industrial. As composições químicas utilizadas tiveram as restrições mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Restrições de composição química utilizadas.

GRAU	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PANELA (% EM PESO)							
	C, máx	Mn, máx	P, máx	S, máx	Si, máx	Al, mín	Nb, máx	Ti, máx
H240LA	0,08	0,60	0,025	0,010	0,20	0,020	0,020	0,010
H360LA	0,10	1,20	0,025	0,010	0,35	0,020	0,030	0,020

As temperaturas de laminação a quente adotadas foram temperatura de acabamento da laminação superior a 850°C e temperatura de bobinamento superior a 590°C.

Utilizou-se um laminador de tiras a quente de seis cadeiras, um laminador de tiras a frio de quatro cadeiras e linha de recozimento em caixa com atmosfera protetiva de HNx.

A análise dos resultados envolveu técnicas de ensaios mecânicos de tração e de dobramento, análise microestrutural por metalografia óptica e, em alguns casos, microsonda de varredura. No tratamento dos resultados, utilizaram-se técnicas estatísticas, com o uso do software *Statistica*® v. 5.1.

### 3 RESULTADOS OBTIDOS

Até 25 de janeiro de 2007, a Cosipa já forneceu 10320 t do grau H240LA e 2030 t do grau H360LA, sendo seus principais clientes a Volkswagen do Brasil Ltda. (85% para o grau H240LA e 80% para o grau H360LA) e a espanhola GAM Consultoria e Negócios Ltda. (9% para o grau H240LA e 7% para o grau H360LA). Os demais clientes consumidores são autopeças ou distribuidores.

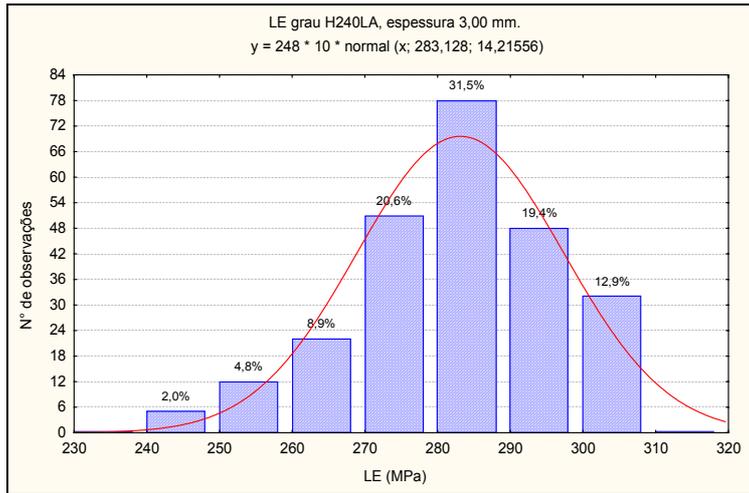
As espessuras já comercializadas para o grau H240LA são entre 0,70 e 3,00 mm para o grau H240LA e entre 1,20 e 2,50 mm para o grau H360LA. Contudo, nada impede que este último grau seja também comercializado até espessura de 3,00 mm, capacidade máxima da linha da COSIPA (função de limitações impostas pela Decapagem).

Para o grau H240LA, a microestrutura típica do material recozido e submetido a *skin pass*, é a mostrada na **Erro! A origem da referência não foi encontrada**. da Figura 6, consistida basicamente de ferrita, com alguma cementita primária.

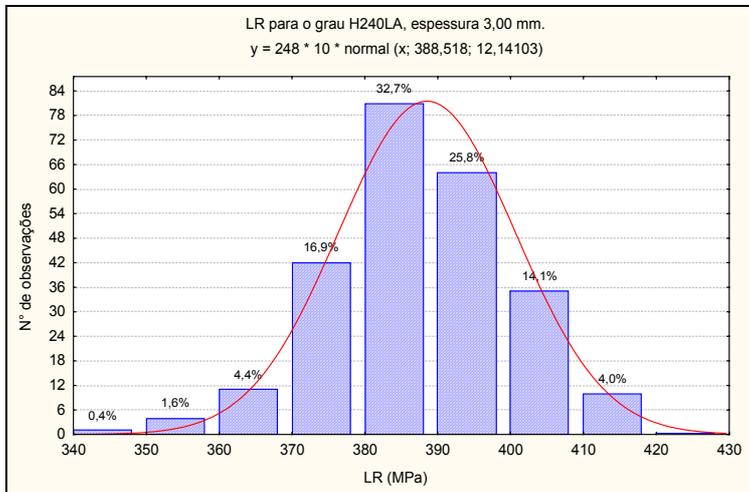


**Figura 6** - Microestrutura típica do material H240LA. Aumento: 100X.

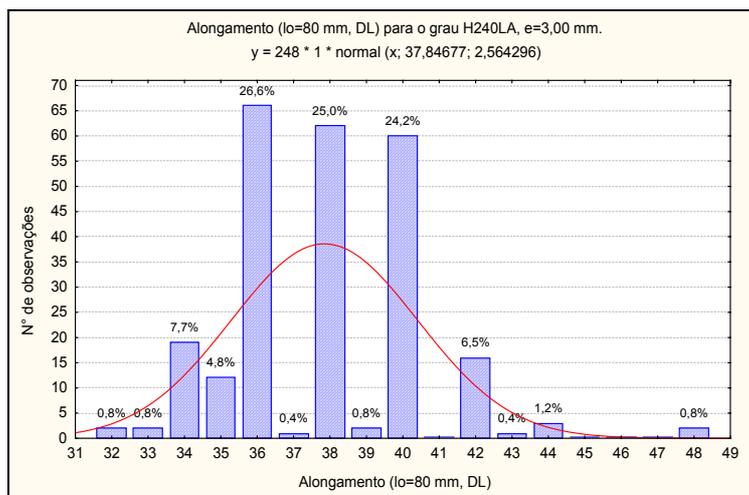
Da Figura 7 à Figura 9, mostram-se as propriedades mecânicas para o grau H240LA, espessura 3,00 mm (a mais comercializada, com 248 medições de propriedades).



**Figura 7** - LE para o grau H240LA, espessura 3,00 mm.

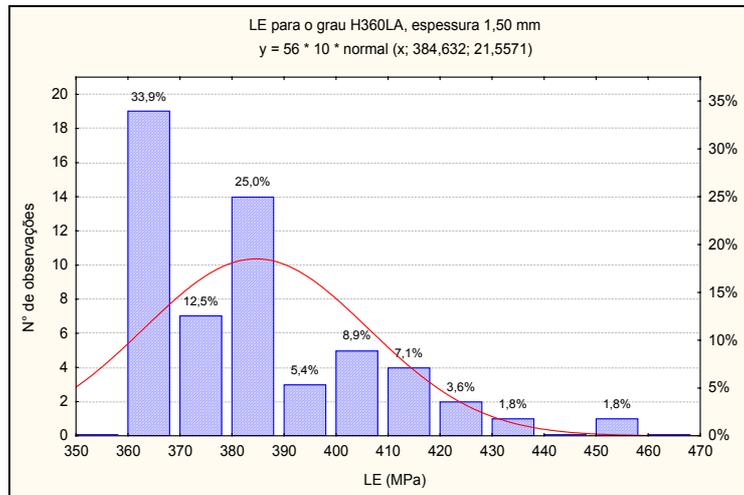


**Figura 8** - LR para o grau H240LA, espessura 3,00 mm

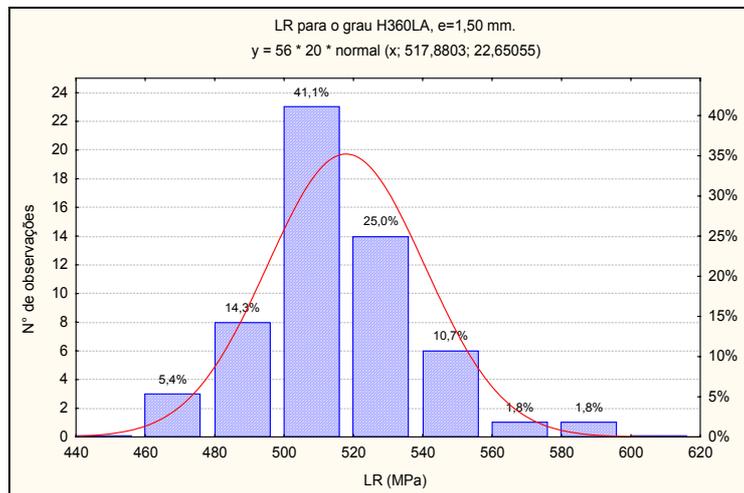


**Figura 9** - Alongamento (lo=80 mm; DL) para o grau H240LA, espessura 3,00 mm.

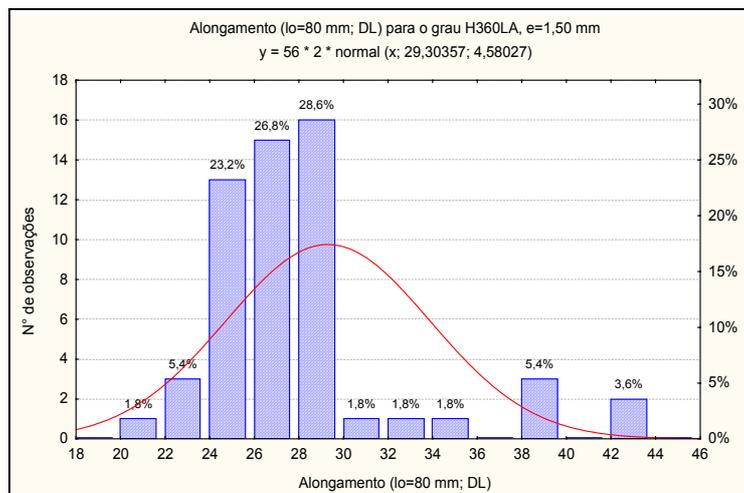
Entre a Figura 10 e a Figura 712, mostram-se as propriedades mecânicas para o grau H360LA, com espessura 1,50 mm (a mais comercializada, com 56 medições de propriedades).



**Figura 10** - LE para o grau H360LA, espessura 1,50 mm.



**Figura 61** - LR para o grau H360LA, espessura 1,50 mm.



**Figura 72**- Alongamento ( $l_0=80$  mm; DL) para o grau H360LA, e=1,50 mm.

Não houve nenhuma ocorrência de não atendimento ao teste de dobramento.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

É inerente ocorrer heterogeneidades de propriedades, quando se usa tecnologia de recozimento em caixa, sendo difícil o atendimento de normas que estabelecem limite inferior e superior para as propriedades mecânicas, ainda mais quando este intervalo é bastante apertado. Esta é a primeira norma de laminados a frio que a Cosipa produz, com este nível de exigência.

Embora as distribuições de propriedades não sejam normais (Figura 7 a Figura 712), não há o risco de embarque de materiais para clientes fora das especificações, pois todos os volumes produzidos são testados antes do embarque, em laboratórios especiais.

A principal dificuldade para o grau H240LA é não ultrapassar o limite de escoamento máximo permitido pela norma, por ser um aço com C equivalente maior do que 0,09% e há a necessidade de ser microligado. Por sua vez, a maior dificuldade encontrada para o grau H360LA foi atingir o limite de escoamento mínimo exigido, função das limitações dos equipamentos da Empresa. Assim, para o grau H240LA, o ciclo de recozimento utilizado foi típico de materiais para estampagem profunda, enquanto que, para o grau H360LA, fez-se tratamento típico de qualidade estrutural. O descarregamento da composição química do aço do grau H240LA ou o aumento do ciclo de recozimento podem ser danosos, pois o intervalo permitido pela norma é muito estreito e o limite inferior pode deixar de ser atendido, já que existem em torno de 7% dos resultados próximos a esse limite (Figura 7).

O grau H360LA apresenta resultados de LE concentrados em volta do limite inferior da norma. Contudo, o carregamento da liga ou a atuação em outros parâmetros, tais como a diminuição do ciclo de recozimento, barram em limitações impostas pelos equipamentos da Empresa.

Para ambos os graus, o LR é a propriedade mecânica que apresentou comportamento mais próximo de uma distribuição normal em torno da média, atendendo plenamente ao solicitado pela norma.

A ductilidade obtida para o grau H240LA atende à solicitação normativa com folga (Figura 9). Contudo, para o grau H360LA, já existem valores próximos do limite mínimo exigido (Figura 72), corroborando com a decisão de não atuar no sentido de aumentar a resistência do material.

## 5 CONCLUSÕES

- a) É inerente à tecnologia de recozimento em caixa promover heterogeneidade de propriedades. Ainda assim, os resultados obtidos para ambos os graus são satisfatórios, com poucos desvios internos e nenhuma ocorrência de reclamação de cliente.
- b) Embora os resultados de LE situem-se, para ambos os graus, próximos aos extremos permissíveis, consideram-se que estejam aptos para comercialização, por não terem ocorridos desvios, tanto internamente como no cliente (a última ocorrência se deu para o grau H360LA, por não atendimento do LE, em junho/2006).

## Agradecimentos

- a) Ao Grupo Usiminas, razão deste trabalho;
- b) Aos membros dos Suportes Técnicos das fábricas, laboratoristas e colegas do Controle Integrado do Produto que colaboraram com este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 Bhattacharya, D., Role of niobium in advanced sheet steels for automotive applications, in **Int. Symposium on Niobium Microalloyed Sheet Steel for Automotive Applications**, 5-8 Dec. 2005, Araxá, p. 275-284.
- 2 Pichler, A. et al., Advanced High Strength Thin Sheet Grades: Improvement of Properties by Microalloying, Assisted Microstructure Control, *ibidem*, p. 245-273.
- 3 Morais, W.A. & Magnabosco, A. S., **Metalurgia Física e Mecânica Aplicada**, ABM (2006).
- 4 Panigrahi, B.K., Process of Low Carbon Steel Plate and Hot Strip – An Overview, *Bull. Mater.Sci.* 24 (4), p.361-371 (2001).
- 5 Kranendonk, W. & Maier, M., Modeling of Softening in Niobium-HSLA Steels During Hot Rolling, in **Int. Symposium on Niobium Microalloyed Sheet Steel for Automotive Applications**, 5-8 Dec. 2005, Araxá, p. 357-365.
- 6 Landgraft, F.J.G. et al, Tamanho de Grão e Textura dos Aços Elétricos de Grão Não-orientado, in **Textura e Relações de Orientações – Deformação, Recristalização e Crescimento de Grãos**, EPUSP – IPEN – IPT, 2003.
- 7 Coterril, P. & Mould, P.R., **Recrystallization and Grain Growth in Metals**, Halsted Press Bo., London (1976).
- 8 Honeycombe, R. W. K, **Aços – Microestrutura e Propriedades**, Fund. Calouste Gulbenkian, Lisboa (1982).
- 9 Dieter, G., **Mechanical Metallurgy**, McGraw-Hill (ed.), 1988.
- 10 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Cold-rolled flat products made of high yield strength micro-alloyed. steels for cold forming - General delivery conditions. **DIN EN 10268**, Berlin, October, 2006.