

# ESTUDO DO ESTRIAMENTO (ROPING) EM AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS AISI 430 ESTABILIZADOS AO NIÓBIO <sup>1</sup>

*Tarcisio Reis de Oliveira* <sup>2</sup>  
*Marco Antônio da Cunha* <sup>2</sup>  
*Isabel Noemi Gonçalves* <sup>3</sup>

## Resumo

Foram realizados estudos visando caracterizar o estriamento no aço inoxidável ferrítico AISI 430 estabilizado ao nióbio produzido pela Acesita. Foram feitas análises do produto industrial e simulações em laboratório. Foram utilizadas técnicas de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura e EBSD. Foram feitas caracterizações mostrando que a estria típica nos aços 430Nb é principalmente do tipo ondulação (estria larga). A causa principal deste estriamento é a estrutura de solidificação, onde os contornos de grãos colunares estão repletos de carbonitretos de nióbio e também nióbio em solução sólida, o que prejudica a recristalização durante a laminação a quente, sendo este fato evidenciado pela primeira vez na literatura. Valores elevados de nióbio em solução sólida aumentam o estriamento destes aços, pois prejudicam a recristalização durante a laminação a quente e nos recozimentos das bobinas a quente e a frio. Foi reduzida a faixa de estabilização, com conseqüente melhor recristalização do material e menor estriamento final. Foi eliminada a produção de 430Nb via dupla laminação.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável ferrítico; Estria; Nióbio; Roping

## ROPING IN AISI 430 FERRITIC STAINLESS STEEL STABILIZED WITH NIOBIUM Abstracts

Studies were carried out to characterize the roping phenomenon in AISI 430 ferritic stainless steel stabilized with niobium produced by Acesita. Industrial and laboratorial materials were analyzed by optical microscopy, scanning electronic microscopy and EBSD techniques. The typical roping in 430Nb was like undulation (large roping). The main cause is the casting structure, where the boundaries of columnar grains are filled with niobium carbonitrides and niobium in solid solution, disturbing the recrystallization during the hot rolling. High contents of niobium in solid solution increase the roping in these steels. The stabilization was reduced with better recrystallization and lower roping.

**Key words:** Roping; Ferritic stainless steel; Niobium; Ridging

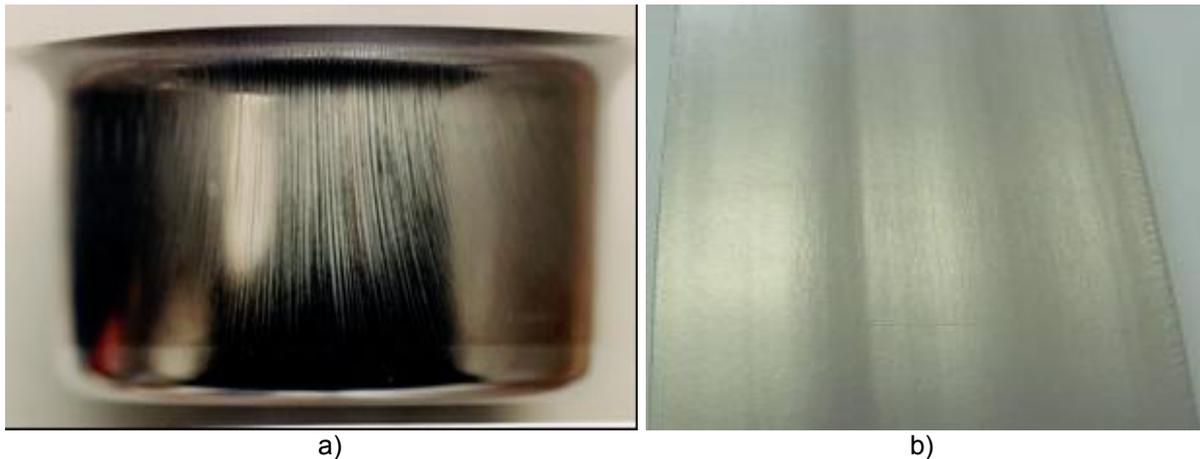
<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Doutor, Pesquisador, Acesita S. A. - Centro de Pesquisas – Praça 1º de maio, 9 – 35180-000 – Timóteo, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Membro da ABM, Mestre, Pesquisador, Acesita S. A. - Centro de Pesquisas – Praça 1º de maio, 9 – 35180-000 – Timóteo, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Em geral, as chapas laminadas a frio dos aços inoxidáveis ferríticos 430 quando submetidas à deformação, como tração ou estampagem, apresentam o defeito denominado estrias (roping ou ridging), afetando negativamente o aspecto visual das peças. O nível de estrias é particularmente importante para espessuras finas. Quando este fenômeno aparece, torna-se necessário realizar operações de lixamento e polimento, elevando os custos de produção. A Figura 1a apresenta o aspecto macroscópico deste fenômeno.



**Figura 1** – a) Estrias típicas de um aço inox ferrítico 430 na parede lateral de uma cuba retangular. b) Aparência das estrias largas (ondulação).

Ao longo dos anos, vários pesquisadores têm proposto diferentes mecanismos para tentar explicar este fenômeno, não existindo ainda um consenso definitivo sobre o tema. Um ponto comum a todos é que o estriamento está ligado à anisotropia plástica da estrutura cúbica de corpo centrado e da heterogeneidade da textura da chapa de aço. Os estudos mostram a existência de colônias ou bandas de grãos, com comportamentos plásticos diferentes, como forma para explicar as características macroscópicas do estriamento. Ou seja, a textura inicial e sua distribuição espacial são os fatores determinantes na formação do estriamento nestes materiais. Wu et al.<sup>(1,2)</sup> e Sinclair<sup>(3)</sup> propuseram recentemente um modelo respaldado por dados experimentais e de modelagem onde orientações bandeadas com severos cisalhamentos positivos e negativos são as responsáveis pelo estriamento.

Nos anos 90, a Acesita desenvolveu um aço inoxidável ferrítico 430 (16% Cr) estabilizado ao nióbio, chamado 430Nb, visando obter melhores propriedades mecânicas (principalmente estampabilidade) e melhor brilho. Além disso, este aço é produzido via recozimento contínuo após a laminação a quente, não sendo necessário o processo via recozimento em caixa, o qual é um processo muito demorado. A composição química típica deste aço é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1**– Composição química do aço 430Nb (% em peso).

| Cr    | Mn   | Si   | C    | N    | Nb   |
|-------|------|------|------|------|------|
| 16,20 | 0,20 | 0,30 | 0,02 | 0,02 | 0,35 |

Em 2003, o aço 430Nb estava com um elevado nível de estrias após 15% de deformação por tração, apresentando percentuais ao redor de 80% acima de 1,3, limite considerado adequado para aplicações mais exigentes. Nestas aplicações, como pias e cubas e alguns segmentos de baixelas, fez-se necessário a utilização de processo via recozimento intermediário (processo também chamado de dupla laminação) para melhoria do defeito, porém com elevação de custo e maior *lead-time*.

Visando reduzir o nível de estrias nestes aços no processo por redução direta (laminado a frio em apenas uma etapa de recozimento), vários estudos foram realizados procurando caracterizar o defeito e compreender o mecanismo de formação do estriamento e as prováveis maneiras de eliminar/reduzir tal ocorrência.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Tipos de Estrias**

Inicialmente foi percebido que havia diferentes tipos de estrias e não apenas um só tipo, variando em função do aço e da forma de processamento. Há estrias finas, espaçadas regularmente de 1 a 2 mm umas das outras, e estrias largas ou ondulações, com distâncias maiores e menos regulares entre si (Figura 1b).

Em geral, os aços de tipo 430 apresentavam o estriamento da seguinte forma:

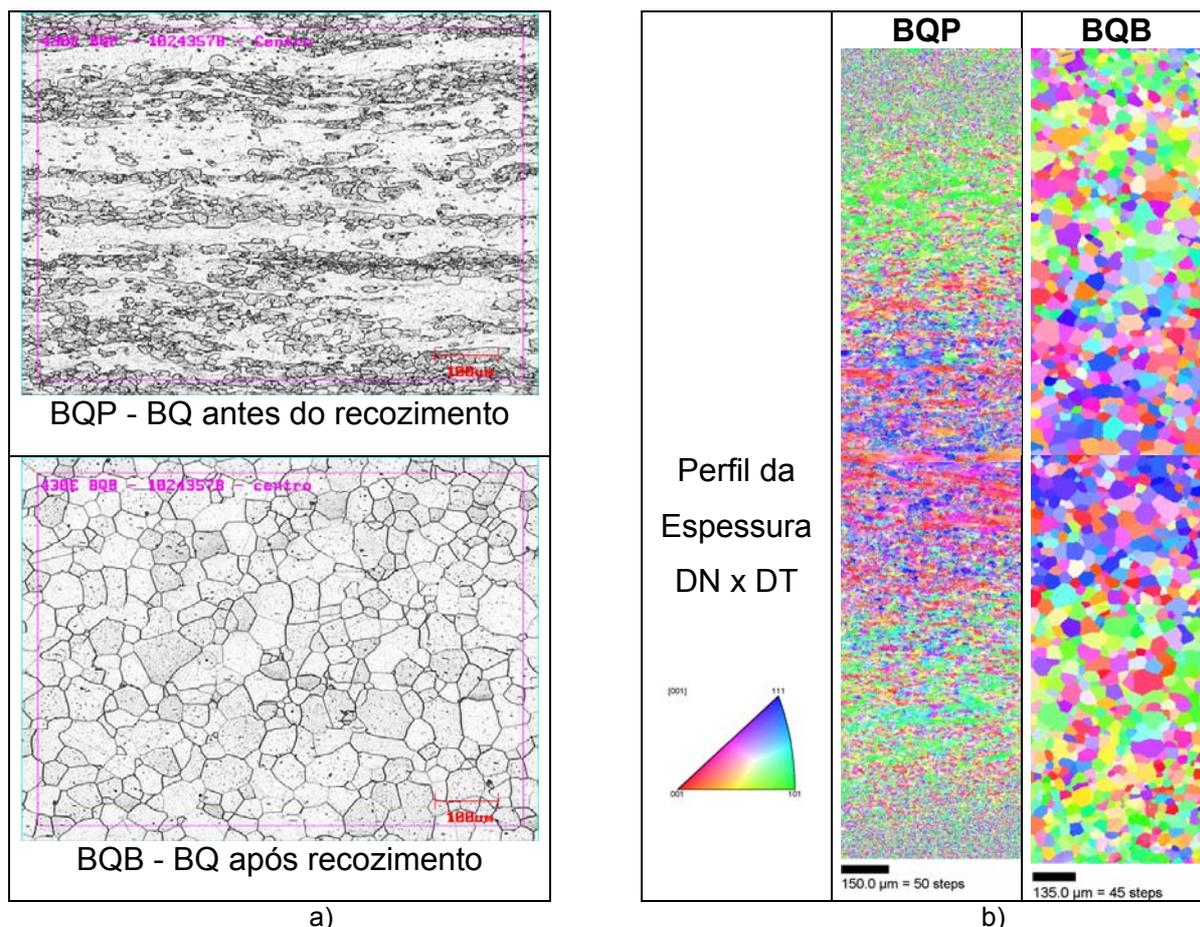
- Aço 430 não estabilizado: ondulações leves e médias e estrias finas contínuas
- Aço 430Nb redução direta: ondulações fortes e estrias finas leves
- Aço 430Nb via intermediário: ondulações leves e ausência de estrias finas

Desta forma, percebeu-se uma nítida diferença entre os materiais, sendo o 430Nb via intermediário o material mais adequado e o 430Nb via redução direta o material com mais problemas a serem solucionados, com foco principal nas estrias largas. A típica estria fina de aços 430, presente no 430 não estabilizado, não era um problema para o aço 430Nb.

### **2.2 Caracterização das Bobinas a Quente (BQs) e a Frio (BFs)**

O processamento tradicional de um aço 430 não estabilizado é feito via recozimento em caixa após a laminação a quente, a fim de transformar a martensita presente em ferrita mais carbonetos/nitretos de cromo. Este aço é bifásico durante a laminação a quente. O aço 430Nb, devido à adição de nióbio e ao baixo teor de intersticiais, é 100% ferrítico em todas as temperaturas. Seu processo na laminação a quente é baseado em duas etapas: a primeira permite a recristalização durante a fase de desbaste e a segunda o acúmulo de deformação durante a laminação no Steckel. Esta deformação acumulada na laminação a quente permite a posterior recristalização do material na etapa de recozimento contínuo da bobina a quente.

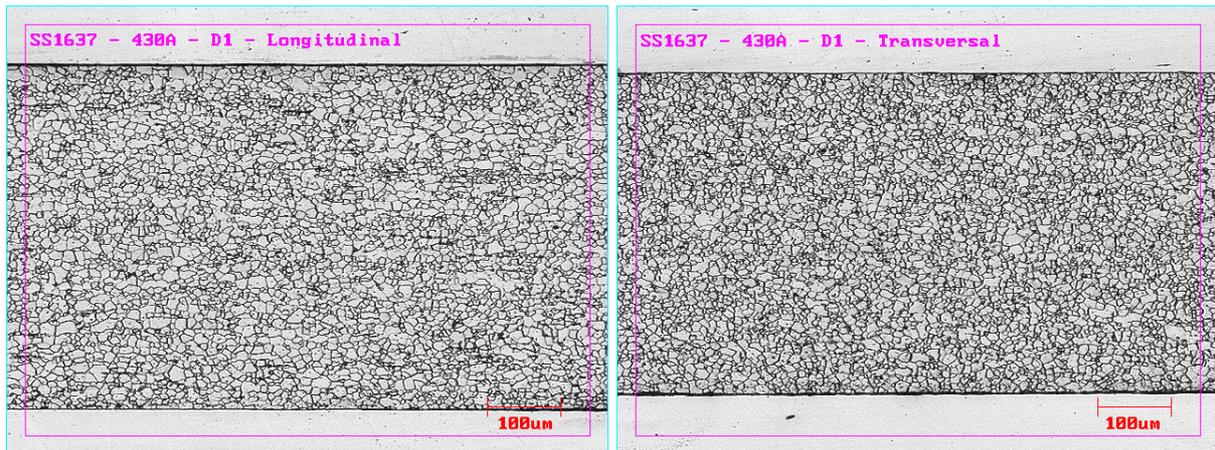
Foram realizadas várias caracterizações das bobinas a quente (BQs) e a frio (BFs) por microscopia ótica (Figura 2a) e eletrônica de varredura, principalmente pela técnica de EBSD (Figura 2b). As BQs após a laminação a quente apresentaram uma microestrutura heterogênea ao longo da espessura, com grãos alongados e deformados principalmente no centro da espessura. Após recozimento, ocorre recristalização da microestrutura, com grãos equiaxiais ao longo de toda a espessura. O tamanho de grão ASTM na borda é 7/6 e no centro 5/6. Percebe-se a presença de carbonitretos de nióbio distribuídos na matriz ferrítica, alongados na direção de laminação, que não se modificam durante o tratamento térmico.



**Figura 2** – Microestrutura da BQ do aço 430Nb. a) Microscopia ótica, ataque Vilella. Corte Transversal. b) Análise por EBSD, corte transversal

A análise de microestrutura por EBSD revelou um forte gradiente de orientações ao longo da espessura após a laminação a quente. Próximo a superfície se observa a presença de texturas de cisalhamento, principalmente de orientação Goss  $\{110\}\langle 001\rangle$  e Cobre  $\{112\}\langle 111\rangle$ . Estas texturas são formadas devido ao cisalhamento provocado pelo atrito do cilindro de trabalho com a superfície da chapa durante a laminação a quente. No centro da espessura a ação do cisalhamento é nula, com o material sofrendo apenas deformação plana. Como consequência, nesta região se desenvolvem texturas típicas de deformação plana de materiais cúbicos de corpo centrado, com forte presença de fibra alfa  $\{hkl\}\langle 110\rangle$  e uma parcela menor de fibra gama  $\{111\}\langle uvw\rangle$ . Após recozimento verifica-se novamente o gradiente de textura, com maior textura de cisalhamento próximo a superfície. No centro, continua a presença das fibras alfa e gama, porém com uma intensidade de fibra gama mais evidente.

A análise das bobinas laminadas a frio após o recozimento final mostra normalmente uma microestrutura bem homogênea em relação à espessura, com tamanho de grão ASTM da ordem de 8/9, Figura 3.

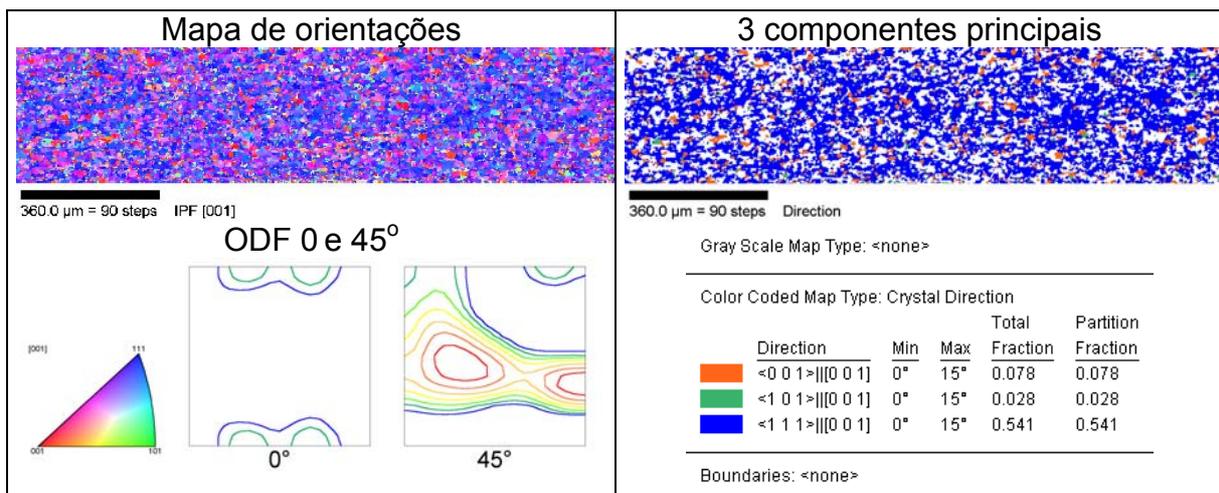


a) Longitudinal

b) Transversal

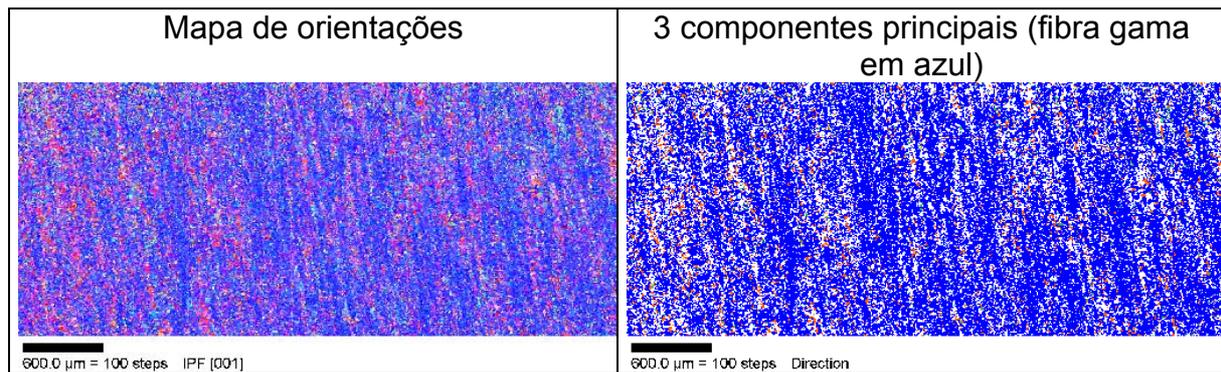
**Figura 3** - Microestrutura de BF recozida do aço 430Nb. Ataque Villela.

Analisando a microestrutura por EBSD através do mapa de orientação, Figura 4, observa-se uma textura composta principalmente pela fibra gama, com uma pequena porcentagem das fibras  $\{001\}\langle uvw \rangle$  e  $\{101\}\langle uvw \rangle$ . Esta textura é esperada para aços ferríticos com 17% de Cr, após laminação a frio e recozimento final. O aço 430Nb apresenta uma elevada intensidade de fibra gama, ao redor de 55%, típica de aços estabilizados, o que confere ao material uma alta estampabilidade.



**Figura 4** - Microtextura da BF recozida analisada por EBSD, seção transversal.

O fenômeno de bandeamento de componentes, normalmente ligado à formação do estriamento, não é muito visível nestes materiais, Figura 5. Como a intensidade da fibra gama é elevada e quase que distribuída homogêaneamente ao longo da região analisada, as bandas são quase imperceptíveis. Isso leva o material a ter um comportamento mecânico homogêneo, com estrias finas de baixa amplitude.



**Figura 5** - Microtextura da BF recozida analisada por EBSD, seção na superfície (1/2 da espessura).

Através destas análises, percebeu-se a razão do baixo estriamento fino dos aços 430Nb, devido a forte intensidade de fibra gama e ao comportamento mecânico mais homogêneo. Porém, não foi evidenciada nenhuma característica microestrutural que explicasse o estriamento largo. Com este intuito, foram feitas modelagens visando correlacionar a microtextura com a anisotropia normal (coeficiente  $r$  de Lankford) e assim evidenciar ondulações após deformação. Nenhuma destas simulações obteve sucesso. Deve-se ressaltar que a teoria mais aceita atualmente sobre o estriamento leva mais em consideração o cisalhamento transversal como o principal mecanismo para a formação de estrias/ondulações, como previsto por Wu et al.<sup>(1,2)</sup> e Sinclair.<sup>(3)</sup> Porém, ainda não foram utilizados modelos que levem em consideração o cisalhamento com os dados levantados no presente estudo.

### 2.3 Influência de Parâmetros de Laminação a Quente no Nível de Estrias

No estudo inicial foram utilizadas amostras de esboço (chapa após o desbaste), variando a temperatura de reaquecimento da placa, temperatura de acabamento e temperatura de bobinamento. Foram feitas análise visual das estrias, análise da microestrutura, microtextura, textura e perfilometria de todas as amostras obtidas. Os parâmetros de laminação a quente influenciaram na morfologia e amplitude das estrias, principalmente a temperatura de acabamento. Baixas temperaturas de acabamento (820 a 865°C) levam à formação de estrias contínuas e altas temperaturas (955 a 1000°C) levam à formação de estrias descontínuas (tipo o defeito “casca de laranja”). Não houve correlação direta da morfologia com a microestrutura das amostras. Todas as amostras apresentaram microestrutura de BF com grãos recristalizados e equiaxiais.

A temperatura de reaquecimento mais elevada (ao redor de 1250°C) permitiu o menor nível de estriamento. A temperatura de bobinamento não teve influência significativa no estriamento final.

Um segundo estudo foi realizado visando avaliar a influência da macroestrutura da placa (grãos colunares e equiaxiais), assim como o nível de segregação, no estriamento do aço P430Nb. Foram utilizadas amostras provenientes diretamente de placa colunar e equiaxial, de duas regiões diferentes de cada placa (central e próximo a superfície). As amostras foram reaquecidas em duas temperaturas (1050 e 1250°C) e dois tempos de reaquecimento (15 e 60 minutos). Em seguida foram laminadas a 860°C e bobinadas a 700°C, condições que tinham dado bons resultados no estudo de esboço.

Amostras provenientes da placa com grãos totalmente equiaxiais apresentaram os melhores resultados de estrias em relação às amostras procedentes da placa

colunar. Essas amostras com grãos equiaxiais foram mais influenciadas pelo tempo e temperatura de reaquecimento, sendo que os melhores resultados foram obtidos à 1250°C com maior tempo de reaquecimento. Concluiu-se que uma estrutura equiaxial é mais sensível às otimizações que possam ocorrer nas variáveis da laminação a quente.

Não foi observada nenhuma correlação clara entre a microestrutura das amostras após laminação a frio e o nível de estrias. Todas as amostras apresentaram microestrutura com grãos recristalizados e equiaxiais, embora amostras provenientes de grãos colunares tenham apresentado uma microestrutura heterogênea em relação à espessura.

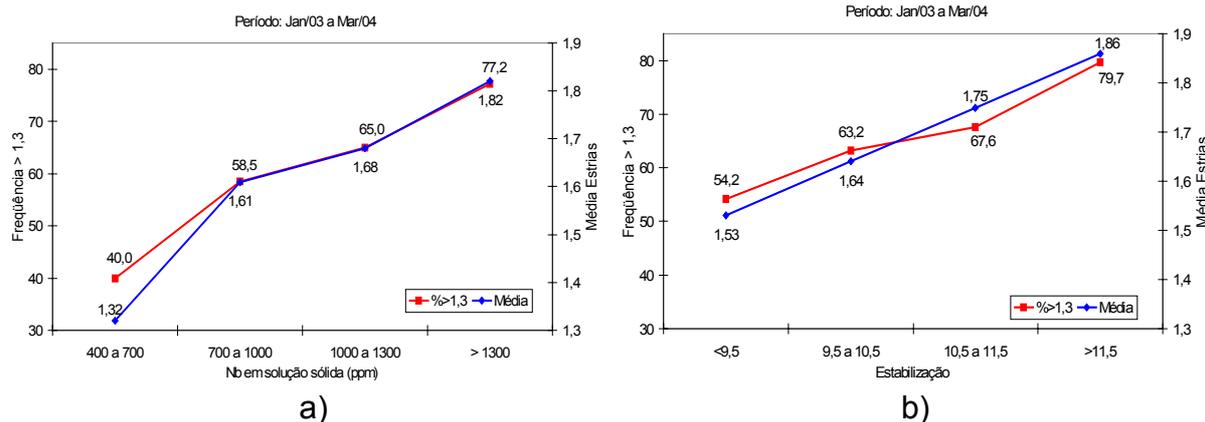
## 2.4 Influência da Composição Química

Ao longo dos anos, algumas correlações foram feitas visando obter indicações de variáveis influenciando o processo de formação de estrias mas não ainda devidamente identificadas e otimizadas. Através da correlação direta da influência do estriamento com os elementos de liga, principalmente nióbio, carbono e nitrogênio, não se conseguiu identificar nenhuma tendência. Na verdade, era preciso antes compreender o mecanismo de atuação destes elementos na microestrutura. Este fato foi evidenciado na tese de doutorado de Oliveira [2003], onde a influência do nióbio em solução sólida, ou seja, não combinado ao carbono ou nitrogênio, exercia forte influência na redução ou bloqueio da recristalização durante a deformação a quente e em processos de recozimento. O nióbio segrega-se fortemente nos contornos de grão, impedindo ou retardando sua migração pelo mecanismo conhecido como arraste de impurezas (Dragg effect). Os precipitados também têm efeito pronunciado, retardando também os processos de migração dos contornos de grão e recristalização.

O  $\Delta\text{Nb}$  (fração de nióbio em solução sólida) foi então determinado usando a equação estequiométrica :

$$\Delta\text{Nb} = \% \text{Nb} - 7.74 \times \% \text{C} - 6.64 \times \% \text{N}$$

Uma outra forma de se avaliar o  $\Delta\text{Nb}$  é via índice de estabilização (E), que consiste na divisão do teor de nióbio pela soma de carbono mais nitrogênio [ $E = \text{Nb}/(\% \text{C} + \% \text{N})$ ]. As análises via  $\Delta\text{Nb}$  ou estabilização já não são apenas correlações simples, mas têm embutidos também aspectos metalúrgicos frutos de conhecimento científico. Foram feitas então correlações da estabilização e do  $\Delta\text{Nb}$  e na geração de estrias. Os resultados são mostrados na Figura 7. Percebe-se claramente que o maior estriamento está diretamente ligado ao nióbio em solução sólida.



**Figura 7** – Correlação entre o estriamento após 15% de deformação por tração a) nióbio em solução sólida  $\Delta$ Nb b) Estabilização. Período de janeiro 2003 a março 2004.

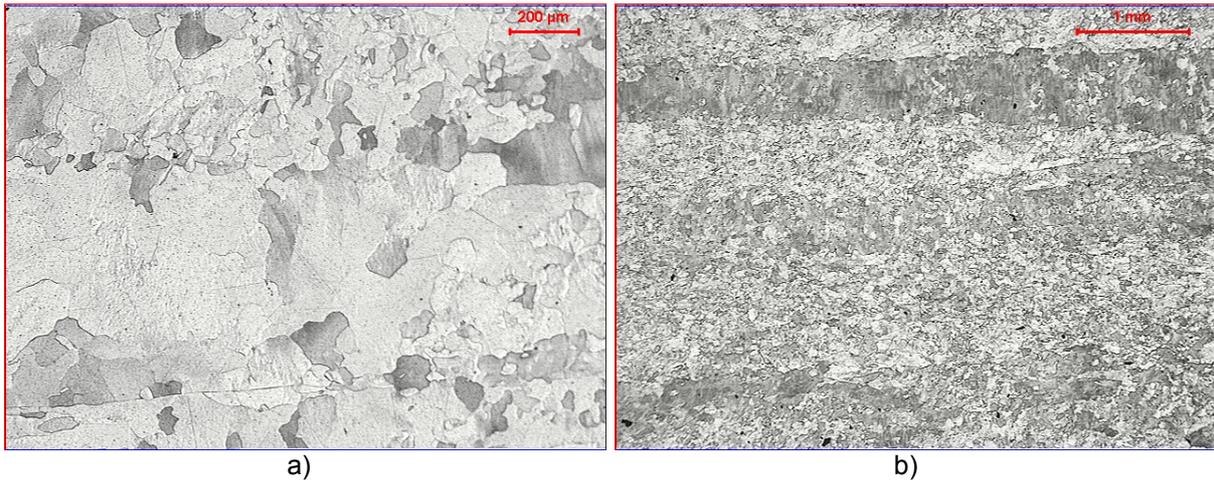
Após a identificação da influência do nióbio em solução sólida, foram feitas novas correlações da influência do carbono e nitrogênio, mas separando para faixas específicas de estabilização. Foi então percebida uma correlação de menor estriamento para valores mais elevados de carbono e nitrogênio.

## 2.5 Mecanismo de Formação da Estria Larga

O aço 430Nb apresenta solidificação 100% colunar e estrutura ferrítica desde a solidificação até a temperatura ambiente. Analisando a metalografia das placas, foi observada a presença de forte precipitação de carbonitretos de nióbio ao longo dos contornos de grão. Esta precipitação ocorre durante o resfriamento da placa após o lingotamento. Como o nióbio tem baixa solubilidade na ferrita, ele segrega-se fortemente nos contornos de grão, vindo a se precipitar nesta região ao ser atingida a temperatura de precipitação.

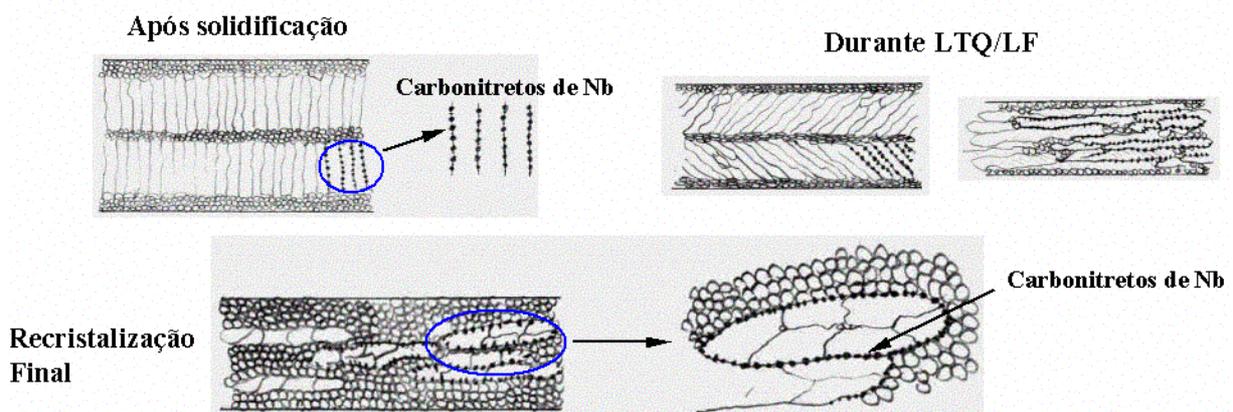
Em estudo para se avaliar a evolução microestrutural ao longo dos passes da laminação Steckel, a partir de esboços, percebeu-se que na superfície surgem estruturas de grãos colunares (Figura 8). Com o prosseguimento da deformação, estes grãos tendem a não ser mais detectados por microscopia ótica, ficando a microestrutura homogênea. Foi interessante observar que mesmo partindo de esboço ainda existiam resquícios da estrutura colunar da placa na fase de laminação de acabamento.

Em análise mais detalhada da região de grãos com aspecto colunar próximo a superfície, percebeu-se a forte concentração de precipitados ao longo dos contornos de grão, bloqueando a livre migração dos mesmos. Embora não evidenciado, supõe-se que também o nióbio em solução sólida estivesse segregado nos contornos de grão, o que contribuiria juntamente com a precipitação para impedir a migração dos contornos.



**Figura 8** - Metalografia da superfície (DLxDT). Ataque Vilella, DL horizontal. a) na entrada do 2º passe, b) entrada do 4º passe.

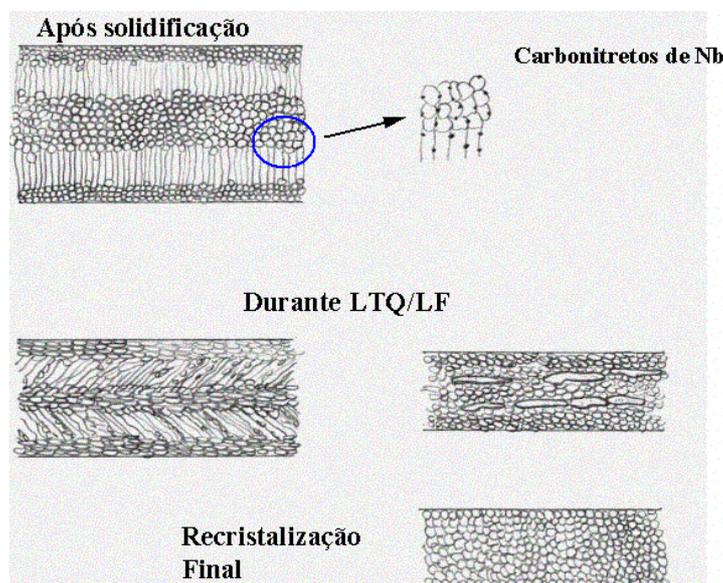
Foi então estruturada uma hipótese de formação das estrias largas em função das análises microestruturais e da temperatura de reaquecimento. Após o lingotamento e solidificação da placa, há uma forte presença de precipitação nos contornos de grão dos grãos colunares. Mesmo após a laminação a quente e a evolução dos grãos originais com a deformação, haveria traços dos grãos originais, o que poderia ser um indicativo de maior recristalização do tipo *in grain*. Nesta forma de recristalização, os processos ocorrem apenas no interior de cada grão original, uma vez que a interface, que está repleta de carbonitretos de nióbio e nióbio em solução sólida, bloqueia a continuação da recristalização para o grão vizinho. Desta forma, a influência dos grãos originais é muito maior e a fragmentação e a formação de uma textura mais aleatória muito menor. Isso é esquematizado na Figura 9. Como consequência final, ocorrem colônias de grãos de orientações similares nas BQs. Estas mesmas colônias, após laminação a frio e recozimento, vão produzir bandas de comportamentos mecânicos similares e de grandes proporções, gerando as estrias largas.



**Figura 9** - Esquema de evolução microestrutural dos grãos colunares durante a laminação a quente e recozimento.

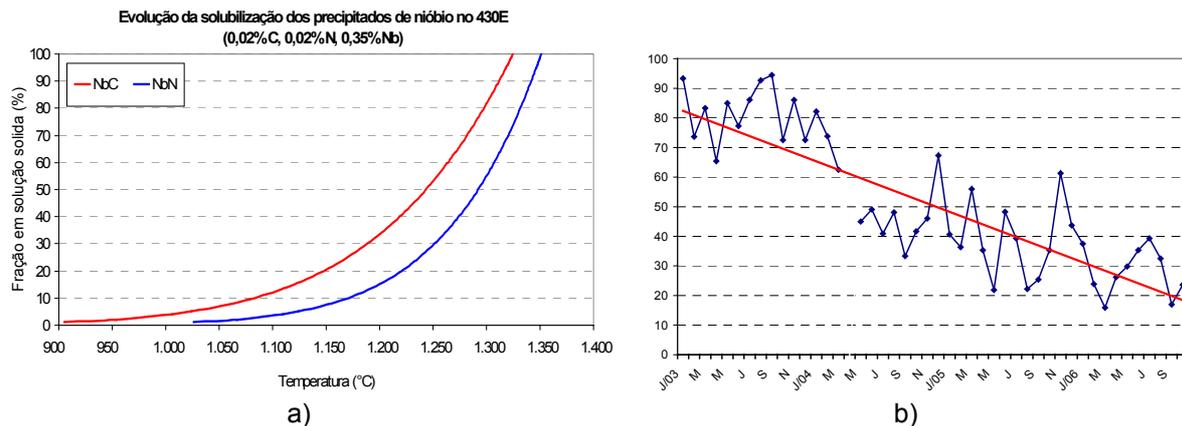
Um fator muito importante também a ser levado em consideração é a textura dos grãos colunares, normalmente do tipo  $\{001\}\langle uvw \rangle$ , orientação de maior crescimento na solidificação. Esta orientação apresenta alta capacidade de recuperação, com conseqüente difícil recristalização, o que induziria a manutenção desta textura ao longo da laminação a quente.

Há várias evidências que corroboram esta hipótese. A primeira e principal delas é que este tipo de estria não ocorre em produtores de inox que utilizam agitador eletromagnético durante o lingotamento. Nesta condição, obtém-se ao redor de 50% de grãos equiaxiais, além de grãos colunares de menor dimensão, aumentando de forma significativa a área dos contornos de grão, fazendo então que a densidade de precipitados nos mesmos seja bastante reduzida. Desta forma, e combinando com a maior acúmulo de deformação para grãos equiaxiais, há uma probabilidade muito maior para a ocorrência de recristalizações mais eficientes durante a laminação a quente, eliminando as bandas de grandes dimensões de orientação similar. Como conseqüência, o estriamento largo é reduzido ou eliminado na BF. A evolução microestrutural nesta condição é mostrada esquematicamente na Figura 10a.



**Figura 10** - Esquema de evolução microestrutural de placa com 50% de grãos equiaxiais durante a laminação a quente e recozimento.

Outra forma de se eliminar o problema seria via reaquecimento das placas em temperaturas elevadas, tal como observado a  $1250^{\circ}\text{C}$  na simulação em laboratório. Nesta condição, o que se supõe é que haja uma dissolução parcial dos precipitados dos contornos de grão no reaquecimento, com posterior reprecipitação de forma distribuída na matriz durante a laminação de desbaste. A Figura 11a mostra que os carbonetos e nitretos de nióbio se reprecipitam em uma extensa faixa de temperatura durante a laminação a quente. Com menor densidade de precipitados, os contornos de grão estariam mais livres para migração e a recristalização seria mais eficiente durante a laminação a quente.



**Figura 11** – a) Evolução da solubilização/precipitação dos precipitados de nióbio segundo Akamatsu. b) Evolução do percentual de bobinas com estriamento após deformação superior a 1,3 para espessuras finas.

A formação de estrias largas seria então decorrente da evolução dos grãos colunares originais e da influência dos precipitados em seus contornos, fato que não tinha sido ainda mencionado na literatura.

A constatação da importância da estrutura da placa no estriamento serviu de subsídio para a decisão de compra do agitador eletromagnético pela Acesita, que deverá entrar em operação no final de 2007. Análises com a ponta final de última placa de sequencial no lingotamento (placa 8), com aproximadamente 50% de grãos equiaxiais, mostrou que a instalação do agitador eletromagnético deve reduzir o nível de estrias dos aços 430Nb em 1 ou 2 níveis.

## 2.6 Mudança na Faixa de Estabilização

Após a verificação da influência do nióbio em solução sólida no estriamento, foram tomadas medidas para a sua redução. A faixa de estabilização do 430Nb foi reduzida, sendo eliminados os casos mais graves com alto nióbio em solução sólida, para as estabilizações elevadas. A faixa de carbono e nitrogênio também foi acertada de forma a não se ter valores de intersticiais muito baixos, o que normalmente dava maiores valores de estriamento.

O gráfico da Figura 11b mostra a evolução do estriamento maior que 1,3 para o aço 430Nb nos últimos anos. Houve uma sensível melhora em relação ao nível de 2003. Relembrando que o aço 430Nb tem solidificação 100% colunar, ainda há uma influência da macroestrutura da placa nos resultados de estriamento, o que deve ser melhorado ainda mais após a instalação do agitador eletromagnético.

Com a melhora do estriamento no material via redução direta após a mudança da faixa de estabilização e da redução de corridas com baixos valores de intersticiais, foi gradativamente sendo reduzida a produção de material via intermediário. Atualmente este fluxo é utilizado apenas para as aplicações que exigem estampabilidade extra-profunda.

### 3 CONCLUSÕES

Foram feitas caracterizações mostrando que a estria típica nos aços 430Nb é principalmente do tipo ondulação, também chamada de estria larga. Foram levantadas e confirmadas hipóteses a respeito dos mecanismos geradores deste estriamento e as maneiras de minimizá-lo, sendo este fato evidenciado pela primeira vez na literatura. A causa principal deste estriamento vem da estrutura de solidificação, onde os contornos de grãos colunares estão repletos de carbonitretos de nióbio e também nióbio em solução sólida, o que prejudica a recristalização durante a laminação a quente. Produzem-se então bandas de grãos com textura e comportamento mecânico similares, gerando o estriamento. A forma de minimizar o problema é via instalação de um agitador eletromagnético no lingotamento, com aproximadamente 50% de grãos equiaxiais. Os estudos em laboratório deram subsídios para a compra do agitador eletromagnético pela Acesita, que deverá entrar em operação no final de 2007.

Foi evidenciada a forte influência do nióbio em solução sólida no estriamento destes aços. Valores de estabilização elevados, com elevado teor de nióbio em solução sólida, prejudicam a recristalização durante a laminação a quente e nos recozimentos das bobinas a quente e a frio. Foi então reduzida a faixa de estabilização, com conseqüente melhora na recristalização do material e menor estriamento final. Foi eliminada a produção de 430Nb via intermediário. Atualmente este fluxo é utilizado apenas para os clientes que desejam uma estampabilidade extra-profunda.

Houve uma sensível melhora no nível de estriamento dos aços 430Nb produzidos por redução direta para espessuras finas. Após 15% de tração, o nível de estrias acima de 1,3 foi reduzido de 80% em 2003 para valores ao redor de 25%. Este valor tende a ser ainda melhor após a instalação do agitador eletromagnético.

### REFERÊNCIAS

- 1 WU, P. D.; JIN, H.; SHI, Y.; LLOYD, D. J. Analysis of ridging in ferritic stainless steels sheet. **Materials Science and Engineering**, A423, p. 300-305, 2006.
- 2 WU, P. D.; LLOYD, L. J.; HUANG, Y. Correlation of ridging and texture in ferritic stainless steels sheet. **Materials Science and Engineering**, 2006.
- 3 SINCLAIR C.W. A re-examination of potential models for roping of ferritic stainless steel. Department of Metals and Materials Engineering, University of British Columbia. 2002.

### BIBLIOGRAFIA

- 1 AKAMATSU S., HASEBE M., SENUMA T., MATSUMURA Y.; AKISUE O. Thermodynamic calculation of solute carbon and nitrogen in Nb and Ti added extra-low carbon steels. **ISIJ International**, vol. 34, p. 9-16, 1994.
- 2 OLIVEIRA, T. R. Effet du niobium et du titane sur la déformation à chaud d'aciers inoxydables ferritiques stabilisés. Tese de doutorado. Ecole des Mines de Saint Etienne, França, 2003.