

# INOVAÇÃO EM AÇO PARA REFRIGERAÇÃO: AFINAMENTO DE ESPESSURA VISANDO BENCHMARK GLOBAL<sup>1</sup>

*Alexandre Pimentel Sampaio<sup>2</sup>  
Fernando Generoso Neiva Ferreira<sup>3</sup>  
Emerson Socrates Lopes<sup>4</sup>  
Cláudio Luiz de Souza Dineas<sup>5</sup>  
Renata Cristina Lentini Nascimento<sup>6</sup>  
Laércio Roberto Olinger<sup>7</sup>*

## Resumo

A redução de custo é uma tendência global no mercado de linha branca. Um dos itens mais trabalhados neste quesito é o afinamento de espessura em componentes de aço. Desta forma, o conceito de desenvolvimento para aplicação acaba se tornando cada vez mais saliente, caracterizando um diferencial de mercado. O objetivo deste trabalho é, fundamentalmente, viabilizar a redução de espessura de peças para refrigeradores, mantendo sua função cobertura e aprimorando a qualidade do aço, por meio da alteração e adaptação do fluxo produtivo de laminação e recozimento voltado à necessidade do cliente. Este é parte de um trabalho maior: o desenvolvimento do aço CSN extrafino para os segmentos de linha branca entre outros. A metodologia utilizada contempla o fluxo do sistema de desenvolvimento de produtos da CSN, seguindo as principais etapas: identificação da oportunidade do novo produto, análise técnica e econômica preliminar, definição das características do produto e condições de processamento, produção de lotes experimentais, validação no cliente e liberação para venda. Os resultados obtidos no trabalho são mostrados, evidenciando as características de forma, superfície, e aumento da resistência mecânica do aço.

**Palavras-chave:** Laminado a frio extrafino; Desenvolvimento; Mercado; Linha branca.

## INNOVATION IN STEEL FOR REFRIGERATORS: THICKNESS THINNING SEEKING GLOBAL BENCHMARK

The cost reduction is a global trend on the appliance industry. One of the most worked point regarding this is the thinning of steel components thickness. Currently, the concept of development for application eventually becomes increasingly salient, featuring a market differentiator. The objective of this work is fundamentally enable the reduction in thickness of steel parts for refrigerators, maintaining its coverage function and improving the quality of steel by changing and adapting the rolling and annealing productive flow focused on customer needs. This is part of a larger work: the development of CSN extra-thin steel for home appliances market among others. The methodology used covers the CSN's product development system flow, following the main steps: identification of new product opportunity, preliminary technical and economic analysis, definition of product characteristics and processing conditions, production of trial batches, client validation and release for sale. The obtained results are displayed, showing the surface features and increase of strength of the steel.

**Key words:** Cold-rolled extra-thin; Development; Market; Home appliances.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *M.Sc., Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

<sup>4</sup> *Químico Industrial, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

<sup>5</sup> *Técnico Metalúrgico, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

<sup>6</sup> *Engenheiro Químico, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

<sup>7</sup> *Engenheiro Mecânica, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) tem realizado um trabalho de desenvolvimento, adequação e inovação de produtos, visando diversificar seu portfólio e gerar soluções em aço para os diversos segmentos de mercado. A proposta da CSN é viabilizar o uso de aços cada vez mais finos na linha branca, através da produção na sua planta de materiais para folhas metálicas, porém, mantendo a qualidade e rigidez dos componentes finais.

Esse projeto permite a redução de espessura pelos produtores de refrigeradores, permitindo a utilização de espessuras cada vez menores, principalmente considerando o aço combinado com poliuretano (PU). O afinamento de espessura é uma tendência da Linha Branca global, uma vez que isso tem impacto direto na redução do custo final da peça e reflete na competitividade dos clientes frente ao mercado interno e externo.

A CSN é especializada na produção de aços finos e pode ofertar produtos de alta qualidade e desempenho. O uso destes também tem que ser focado na qualidade do produto final, tendo que apresentar características especiais que permitem adaptações para os diversos segmentos. Suas principais características, dentre outras, devem ser: excelente planicidade, possibilidade de variação de rugosidade (de fosca a brilhante), qualidade de superfície para peça exposta e propriedades mecânicas controladas e condizentes com a resistência necessária à manutenção da função das peças metálicas.

Em segmentos de mercado como o automobilístico, por exemplo, os aços vem se sofisticando para acompanhar as demandas do setor, à busca de materiais mais resistentes e leves que possam viabilizar a redução de peso de veículos e conseqüentemente, de consumo de combustível. As empresas siderúrgicas precisam atender às necessidades das indústrias através de desenvolvimento contínuo de novos produtos, visando atender novos requisitos e mantendo sua competitividade em relação aos materiais sucedâneos, como: plásticos, fibras sintéticas e inclusive outros metais.<sup>(1)</sup>

A proposta da CSN é de expandir esse conceito em nichos de aços não tão complexos, porém, onde novos atributos possam também ser explorados. Ao longo deste estudo, foi possível enxergar a viabilidade de se abrir uma frente de trabalho, por exemplo, com espessuras em torno de 0,43 mm, através da utilização combinada de aço com poliuretano na confecção de portas e gabinetes de refrigeradores, o que potencializa a possibilidade de se trabalhar com espessuras cada vez menores. Neste trabalho, fica claro o aumento de resistência mecânica do aço através da adaptação de condições de processamento nas diferentes rotas de produção. Essa combinação já é consagrada em outros produtos como móveis de aço, painéis frigoríficos, portas, divisórias, etc.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do novo aço foi realizado a partir de produção experimental de lote industrial na Usina Presidente Vargas (CSN UPV), seguindo o método do fluxo padronizado de Desenvolvimento de Produto da CSN,<sup>(2)</sup> que prevê as atividades para o desenvolvimento de produtos tecnicamente corretos, comercialmente vendáveis e economicamente rentáveis, atendendo os requisitos dos clientes e das normas ISO 9001<sup>(3)</sup>/TS 16949.<sup>(4)</sup>

## 2.1 Desenvolvimento do Projeto

### 2.1.1 Oportunidade do novo produto

O mercado de refrigeradores consome cerca de 80.000 t/ano de aços laminados a frio não revestidos, distribuídas em classes de aço carbono em faixas de espessura, atualmente entre 0,40 e 0,60 mm. É um segmento que vem crescendo muito nos últimos anos, com destaque para o grande aumento de consumo apresentado, mais recentemente pelas classes C e D. É marcado por forte inovação e adaptação rápida às necessidades de mercado e que busca, também, atingir em maior escala, segmentos mais nobres de consumo com produtos de cada vez melhor qualidade percebida pelo consumidor final. Na Figura 1,<sup>(5)</sup> exemplos de fotos do produto.



**Figura 1.** O produto refrigerador de aço.<sup>(3)</sup>

Para acompanhar essa necessidade dos clientes, a CSN busca conhecer melhor este mercado e procura criar e desenvolver especificações cada vez mais adequadas a cada aplicação. O lançamento do aço CSN extrafino está alinhado com esse conceito.

Na busca de que o aço integre os dois grandes objetivos da indústria: redução de custo e melhora perceptível da qualidade, este trabalho mostra o desenvolvimento das especificações CSN LB (Linha Branca) 60 e 65, visando a aplicações para chapas de aço com 0,43 mm de espessura.

### 2.1.2 Análise preliminar - características do produto/variáveis do processo

O entendimento do que se busca no resultado final do produto é um dado de entrada fundamental para o sucesso do projeto, principalmente quando essa informação não vem traduzida na forma de norma técnica e sim, da necessidade do cliente. Em relação às necessidades observadas na aplicação do produto, com alguns grupos de aço CSN fornecidos e avaliados em campo (desempenho), foram definidas as características visadas para as novas especificações (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Propriedades inicialmente visadas no aço CSN LB 60

<b>Características do aço CSN LB 60</b>	<b>Visado</b>
Espessura (mm)	0,43
Limite de escoamento (MPa)	290 a 330
Limite de Resistência (MPa)	400 a 440
Alongamento (%)	30 a 36 %
Dureza (HRb)	58 a 62
Tamanho de grão ASTM	11 a 12
Rugosidade	0,6 – 1,5 µm de RA
Oleamento leve	800 mg/m <sup>2</sup> máximo
Aplainamento	restritivo
Superfície	SP (pintura peça exposta)

**Tabela 2.** Propriedades inicialmente visadas no aço CSN LB 65

<b>Características do aço CSN LB 65</b>	<b>Visado</b>
Espessura (mm)	0,43
Limite de escoamento (MPa)	320 a 360
Limite de Resistência (MPa)	410 a 450
Alongamento (%)	30 a 36 %
Dureza (HRb)	62 a 66
Tamanho de grão ASTM	11 a 12
Rugosidade	0,6 – 1,5 µm de RA
Oleamento leve	800 mg/m <sup>2</sup> máximo
Aplainamento	restritivo
Superfície	SP (pintura peça exposta)

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, trata-se de produto de resistência mecânica mais alta do que uma convencional chapa fina a frio de baixo carbono recozida continuamente (limite de escoamento > 250 MPa e limite de resistência maior que 340 MPa).

A definição do tipo de processo de recozimento (caixa ou contínuo) a ser empregado no desenvolvimento, após a laminação a frio foi fundamental, em função das características buscadas no material e na estratégia do projeto. Para a produção de aço com espessura de 0,43 mm, objetivando-se altos valores de limites de escoamento e resistência, utilizando o processo de recozimento em caixa, seria necessário utilizar, no mínimo, uma composição química mais elaborada. No recozimento contínuo, todo o processo já converge para isso. É amplamente conhecida a grande influência da composição química, especialmente no que se refere aos teores de carbono, manganês e nitrogênio, sobre esses materiais recozidos continuamente. As elevadas taxas de aquecimento, curtos tempos de encharque, altas velocidades de resfriamento típicos desse processo, fazem com que o tamanho de grão do aço seja pequeno e que haja retenção de elevadas quantidades de átomos de carbono e nitrogênio.<sup>(6)</sup> Ao longo deste estudo foram observados os resultados obtidos em aços com composição química contendo maiores teores de carbono e manganês do que o aço convencionalmente usado no segmento de mercado em questão.

Para garantir o aumento da resistência mecânica necessária ao aço, traduzida pela necessidade de atingir maiores valores de dureza e limite escoamento e de resistência, utilizou-se alternativas clássicas, como os mecanismos de endurecimento por solução sólida (através do ajuste de composição química) e endurecimento por deformação (adequação dos processos de laminação,

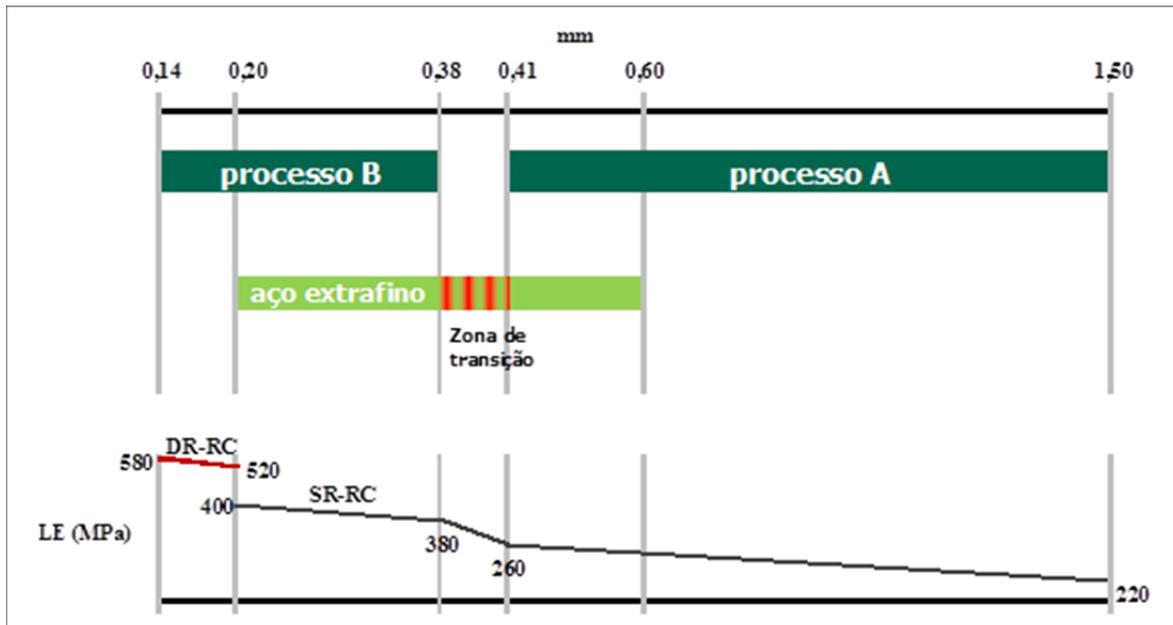
recozimento e encruamento). A Figura 2 mostra o fluxo de produção de aço na CSN e as rotas disponíveis para recozimento.



**Figura 2.** Fluxos de produção CSN disponíveis para a produção de aço laminado a frio para Refrigeração.

Na laminação a frio, promovem-se reduções de espessuras das bobinas quentes decapadas, tendo como produto final a bobina laminada a frio “full-hard” (BFH). Após a laminação a frio, o processo contínuo de recozimento recupera as propriedades mecânicas perdidas na laminação a frio através de uma linha sequencial e contínua composta por: limpeza eletrolítica, forno de recozimento em passes verticais (aquecimento, encharque, resfriamento lento e rápido) podendo ou não ter laminador de encruamento na própria linha. O produto final é uma bobina a frio recozida. A CSN possui 4 Linhas de Recozimento Contínuo, com capacidade para atender à produção de aço com espessuras de 0,45 a 1,50 mm (que aqui, chamaremos de processo A), e para atendimento à produção de aço com espessura abaixo de 0,38 mm (processo B), com laminação de encruamento de simples redução (SR) e dupla redução (DR). O desenvolvimento do produto foi iniciado no processo A, quando se concentrou um enorme esforço operacional de desenvolvimento de projeto, por se tratar de espessura no limite inferior do equipamento.

À medida que o conceito do projeto foi evoluindo, o desenvolvimento passou a ser direcionado para o processo B, uma vez que ficou claro que a utilização de aços cada vez mais finos na Linha Branca é uma clara tendência e que 0,43 mm pode ser somente um degrau para uma redução cada vez maior de espessura. Enxerga-se claramente a tendência de se desenvolver esses materiais para diferentes aplicações, que não, somente, para embalagens metálicas. A Figura 3 mostra a capacidade instalada de produção nos processos A e B em relação à faixa de espessura e alguns níveis de propriedades mecânicas que se pode atingir. Para o processo A, estamos no limite inferior da capacidade do equipamento, quando buscamos produzir a espessura de 0,43 mm. Para o processo B, um pouco acima do limite superior. Nesse caso, fez-se necessário o equacionamento de alguns ajustes operacionais no recozimento contínuo para o desenvolvimento da produção de material.



**Figura 3.** Processos de laminação e recozimento disponíveis para a produção de aço laminado a frio na CSN.

No processo B, para alguns aços mais espessos, convencionais de Linha Branca, de composição química tipo Aço 1, as propriedades mecânicas típicas são apresentadas na Tabela 3, com valor de limite de escoamento (LE) em torno de 260 MPa, dureza em torno de 53 HRb e limite de resistência (LR) em torno de 370 MPa. Só que, à medida que a espessura começa a diminuir, o aumento da resistência mecânica é vital para o sucesso desse tipo de projeto.

Além da definição da composição química adequada, nas etapas posteriores do processamento, os principais pontos de atenção foram:

- Laminação a Quente: temperaturas de bobinamento;
- Laminação a Frio: taxas de redução a frio; e
- Recozimento: opção pelo recozimento contínuo (maior resistência mecânica do produto final). Principais variáveis: Temperaturas de aquecimento, encharque e velocidade da linha.

**Tabela 3.** Resultados de ensaios mecânicos típico de material produzido no processo A, com grau de aço convencional, baixo carbono

Identificação	Espessura (mm)	LE (MPa)	LR (MPa)	Al (%)	Razão elástica	Dureza (HRb)
<b>Aço 1 Processo A</b>	0,45	262	371	36,3	0,71	53

### 2.1.3 Viabilidade técnica/lotes experimentais

O desenvolvimento foi disparado a partir de duas composições químicas, uma convencional ao segmento de Linha Branca (CSN LB 60) e outra com teores mais elevados de carbono e manganês (CSN LB 65).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química e as propriedades mecânicas dos aços em desenvolvimento são apresentadas nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

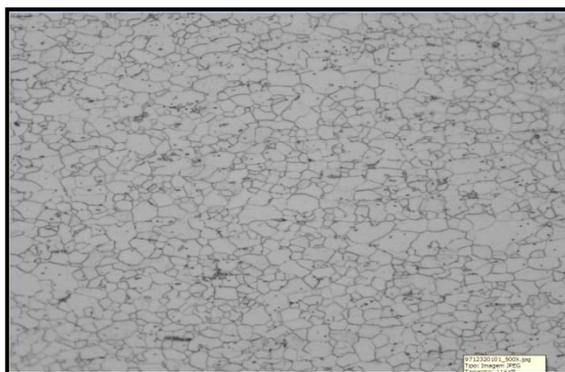
**Tabela 4.** Composição química e propriedades mecânicas dos aços produzidos

Especificação aço	C	Mn	P	S	Al	Si	N
	%	%	%	%	%	%	%
<b>CSN LB 60</b>	0,033	0,21	0,019	0,014	0,039	0,016	0,0041
<b>CSN LB 65</b>	0,106	0,39	0,014	0,012	0,034	0,013	0,0035

**Tabela 5.** Resultados de ensaios mecânicos típico dos aços produzidos

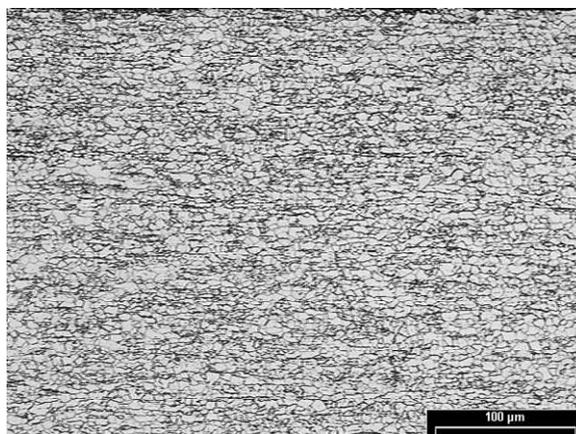
Especificação aço	Esp (mm)	Limite de Escoamento (MPA)	Limite de Resistência (MPA)	Alongamento %	Dureza (HRB)
<b>CSN LB 60</b>	0,43	325	416	30,7	60
<b>CSN LB 65</b>	0,43	342	431	34,6	63

As microestruturas obtidas nos materiais são apresentadas nas Figuras 4 e 5. As amostras analisadas metalograficamente apresentaram grãos ferríticos poligonais associados a bastante cementita globular fina disposta em alinhamentos. O microestrutura do aço CSN LB 60 (Figura 4) apresentou tamanho de grão de 11,2 ASTM.



**Figura 4.** Microestrutura representativa do aço CSN LB 60 (aumento de 200x).

A microestrutura do aço CSN LB 65 (Figura 5), apresentou tamanho de grão de 12,0 ASTM.



**Figura 5.** Microestrutura representativa do aço CSN LB 65 (aumento de 200x).

Os dois aços obtidos neste desenvolvimento foram produzidos para uso em porta e gabinete de refrigerador (Figura 6), com obtenção de resultado OK na performance das peças (validação do projeto junto ao cliente), uma vez que estão de acordo com os dados de entrada do projeto.



**Figura 6.** Porta de refrigerador produzida com o material CSN LB 60.



**Figura 7.** Lateral de refrigerador produzida com o material CSN LB 65.

Após montagem do produto com a injeção de PU, a rigidez alcançada nas peças pelas propriedades mecânicas obtidas nos aços desenvolvidos, foi suficiente para que o resultado no produto tenha sido OK. Como o processo B é especializado em produção de aços para embalagens metálicas, vários ajustes foram necessários nesse desenvolvimento, relacionados às adaptações de características como rugosidade, qualidade de superfície e oleamento que possuem conceitos particulares para cada segmento.

Após todos os ajustes realizados, a CSN tornou-se apta a fornecer materiais para o segmento de Mercado de Linha Branca, utilizando novas rotas de produção na usina.

## 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento contínuo de novos aços para os diferentes segmentos de mercado realizado pelas siderúrgicas busca manter o aço como um material adequado e competitivo, em resposta às exigências e desafios colocados pelos clientes.

A partir do desenvolvimento descrito nesse trabalho a CSN iniciou o fornecimento de aço na espessura de 0,43 mm para o segmento de mercado de Linha Branca, em portas e gabinetes de refrigeradores.

O afinamento de espessura é uma tendência da Linha Branca no mundo todo, uma vez que isso tem impacto direto na redução do custo final da peça e reflete na competitividade dos clientes frente ao mercado mundial. A CSN está focada e equipada para atender a essa necessidade, certa de que há muitas oportunidades a serem exploradas.

## Agradecimentos

A toda a equipe envolvida no desenvolvimento destes aços.

## REFERÊNCIAS

- 1 BRITO, R. M.; Sabioni, N. C.; Moraes, J. J.; Marcelo, C. J.; "Aços planos de alta resistência mecânica-alternativa para redução de peso de carrocerias de automóveis"; 31<sup>nd</sup> Seminário de Laminação ABM, Juiz de Fora, Brasil, 1994.
- 2 Carvalho, S. C. ; Tolomelli, F. T. S.; Fonseca, F. A. V.; Arantes, A.S.; Zwirman, N. C. S. B.; Larcher, N. V.; Barroso, D. S., PADRAO 500443 - Desenvolvimento de um novo produto na CSN- Padrao 500443- revisão7,2009.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas; "ABNT ISO 9001 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos"; 2<sup>a</sup> edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas; "ABNT ISO/TS 16949 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2008 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes"; 2<sup>a</sup> edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.
- 5 BRITO, R. M; " Aspectos Microestruturais e Propriedades Mecânicas de Aço Baixo Carbono Acalmados ao Alumínio Submetido ao Recozimento Contínuo" Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 1989.
- 6 MONTEIRO, B. O; ZWIRMAN, N. C. S.; CURADO, L. H;"Caracterização de aço laminado a frio para adequação ao uso de LF para móveis de aço" relatório técnico Centro de Pesquisas CSN 025/09, , Volta Redonda, Brasil, 2009.