

DESENVOLVIMENTO DE AÇO INOXIDÁVEL 301 BAIXO CARBONO E ALTO NITROGÊNIO PARA A APLICAÇÃO EM VAGÕES METROVIÁRIOS¹

José Carlos Batista²
 Oswaldo Celestino Pires Junior³
 Lucio Assai Bailo⁴
 Emiliana Arthuso⁵
 Marcio Nascimento Cunha⁶
 Marcos Roberto Pinto⁶
 Ronaldo de Almeida Sales²
 Geovane Angelo Gandra⁷
 Carine Oliveira Maia²
 Jose Carlos Dias²

Resumo

O trabalho apresenta as etapas realizadas para a concretização da produção do aço inoxidável austenítico 301LN (Baixo Carbono e Alto Nitrogênio) para a produção de vagões metroviários. Os vagões metroviários utilizam este aço laminado a frio com diferentes níveis de endurecimento e acabamento superficial em diversas aplicações, como estrutura, painéis laterais e teto. Anteriormente este tipo de aço não era produzido no Brasil, tendo que ser importado para a construção dos veículos pelas principais empresas instaladas no Brasil, a Alstom, de origem francesa, a CAF, de origem espanhola e a Bombardier, de origem canadense. O desenvolvimento do aço iniciou-se com a definição da composição química mais adequada, o desenvolvimento dos processos de Aciaria, Laminação a Quente e Laminação a Frio. Foi desenvolvido um Modelo Físico para o comportamento mecânico do aço para o atendimento das propriedades mecânicas exigidas pela aplicação final. Após estudos iniciais, a *Aperam South America* obteve a homologação do material junto aos clientes finais e já participou em inúmeros projetos no Brasil e América do Sul. A perspectiva agora é aumentar o fornecimento e aproveitar o grande potencial de crescimento que o mercado oferece, uma vez que inúmeros projetos de expansão das redes metroviárias estão em curso.

Palavras-chave: Inoxidável; 301LN; Metroviários; Vagão.

DEVELOPMENT OF LOW CARBON AND HIGH NITROGEN 301 STAINLESS STEEL FOR RAILWAY CARS

Abstract

This paper shows the steps performed to develop the production of AISI 301LN stainless steel to build railway cars. Railway cars are built using this kind of steel at several temper grades and surface finishes, such as car structure, external and internal panels and roof. Formerly, the main railway cars builders in Brazil, French associated company Alstom, Spanish associated company CAF and Canadian associated company Bombardier, used to import all volumes to their projects. This development started by defining a suitable chemical composition, the development of steelmaking, hot rolling, cold rolling and finishing processes. Additionally, it was developed a physical model to forecast material mechanical characteristics and to establish temper process for each specified temper grade. After initial supplies, Aperam South America AISI 301LN steel was approved by all customers and started to be used in several railway car projects in Brazil and South America. This segment is forecasted to growth due to several expansions of railway networks in several cities, following Football World Cup and Olympic Games infrastructure preparation.

Key-words: Stainless; 301LN; Railway car.

¹ Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

² Administrador - Assistente Técnico - Aperam South America

³ Engº. Mecânico, M. Sc., PMP - Metalurgista - Aperam South America

⁴ Engº. Metalurgista - Assistente Técnico - Aperam South America

⁵ Engº. Químico - Assistente Técnico - Aperam South America

⁶ Engº. Materiais - Metalurgista - Aperam South America

⁷ Administrador - Gerente de Logística - Aperam South America

1 INTRODUÇÃO

O 301LN (P301F – baixo C, alto N2, alto Mn) é utilizado na fabricação de vagões de composição de metrô. Em geral são utilizados materiais de acabamento 2B, encruado com vários graus de têmpera e de várias dimensões. Além de um compromisso entre as várias propriedades mecânicas (Limite de escoamento, Limite de Resistência, Alongamento e dureza), a planicidade é extremamente crítica.

Neste segmento de vagões metroviários existem três *players* principais:

- Alstom – empresa de origem francesa instalada em São Paulo (Lapa). Possui uma fábrica de grande tradição na América do Sul. Praticamente produz internamente todas as peças que compõem o vagão;
- CAF – empresa de origem espanhola recentemente instalada em Hortolândia. Equipamentos modernos e produção muito terceirizada em sistemistas. Várias peças mais complexas são importadas da matriz;
- Bombardier – empresa de origem canadense. De menor porte, dedica-se principalmente a projetos de reforma de vagões.

Desde o início do desenvolvimento, as principais demandas recaíam sobre o atendimento às propriedades mecânicas e à planicidade. Havia também itens com acabamento endurecido e lixado que, por comporem peças expostas no vagão (denominados “cara a vista”) deveriam ter acabamento lixado rugoso e homogêneo na bobina e entre bobinas. Como principais requisitos, temos:

- Algumas peças ficam expostas no vagão e tem exigência superficial maior. Outras comporão partes estruturais e não tem muita exigência superficial. Entretanto, devem atender às exigências de propriedades mecânicas;
- A aplicação mais crítica são os painéis expostos das janelas dos vagões, cuja planicidade é crítica e o acabamento lixado deve ser homogêneo na chapa e entre chapas;
- As chapas usadas para estes painéis expostos são cortadas à laser e, após o corte, não devem revelar tensões residuais;
- Nos materiais dos concorrentes os principais defeitos que ocorrem são a falta de homogeneidade do acabamento lixado, tensões superficiais nos perfis, planicidade ruim e bordas deformadas nas peças. A planicidade ruim é o defeito mais crítico;
- Algumas peças sofrem soldagem por ponto durante a confecção do vagão;
- As propriedades mecânicas devem atender à norma ASTM A666 e, adicionalmente, às normas internas Alstom.

Partes de P301F que compõem um vagão de metrô

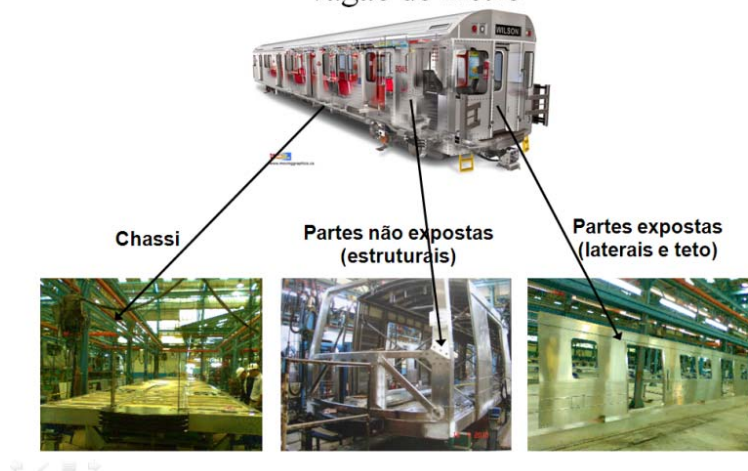


Figura 1 – partes que compõem o vagão de metrô.

2 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL

A especificação deste aço para o cliente final é regida pela norma ASTM A666.⁽¹⁾ Alguns clientes, além do especificado na norma ASTM, exigem algumas características finais especiais.

Quadro 1 – Especificação conforme ASTM A666

Especificação Propriedades Mecânicas - 301LN para Metrô				
Acabamento ASTM	Acabamento Aperam	LE (Mpa)	LR (Mpa)	Along (%)
Recozido	2B	240 min	550 min	45 min
1/8 duro	D2	415 min	760 min	35 min
1/4 duro	D3	515 min	825 min	25 min
1/2 duro	D5	690 min	930 min	20 min

Além dos acabamentos superficiais laminados a frio sem recozimento (TR), os painéis externos dos vagões de metrô devem ter acabamento superficial lixado n° 3.

3 ETAPAS DO PROJETO

3.1 EAP - Estrutura Analítica de Projeto

Para o desenvolvimento do projeto foi elaborada EAP (Estrutura Analítica de Projeto)⁽²⁾ prevendo as etapas conforme abaixo:

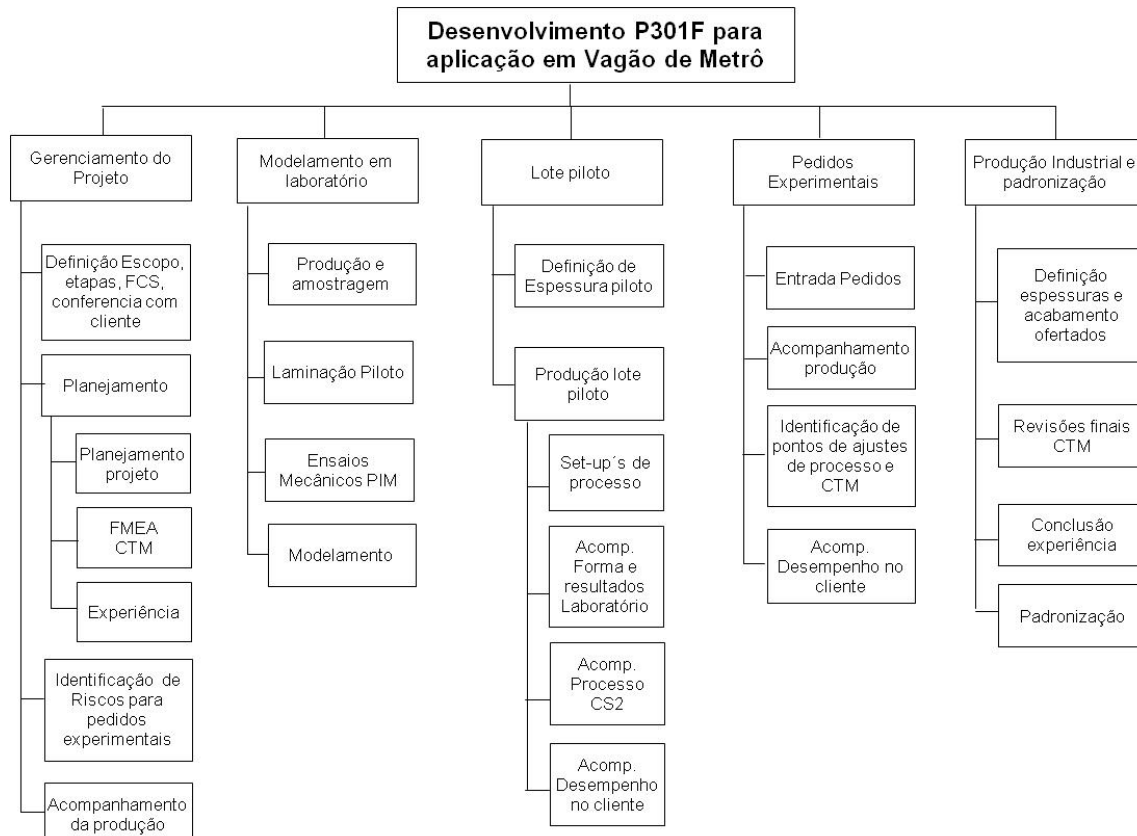


Figura 2 – EAP - Estrutura analítica do projeto.

Todas as etapas previstas na EAP foram realizadas.

3.2 Composição Química

Para o desenvolvimento do aço foi definida a composição química conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Composição química do aço 301LN para vagões metroviários⁽³⁾

Aço	Composição química							
	C	Mn	Cr	Ni	N2 (ppm)	S (ppm)	Si	P (ppm)
AISI 301LN	0,03 max	2,00 max	16,00 a 18,00	6,00 a 8,00	700 a 2000	300 max	1,00	450 max
301 Aperam (P301F)	0,01 a 0,03	1,40 a 1,80	17,00 a 17,50	6,50 a 7,00	800 a 1000	100 max	0,40 a 0,70	400 max

O aço Aperam foi cadastrado internamente como P301F.

3.3 Modelamento Físico

Para o atendimento das propriedades mecânicas especificadas, e atendendo ao previsto na EAP do projeto, foi realizado inicialmente o modelamento físico do comportamento mecânico do aço. Este modelamento se deu nas seguintes etapas:

- produção de bobina laminada a quente recozida e decapada para amostragem;
- preparação de amostras e planejamento da laminação piloto no centro de pesquisas;
- laminação piloto no centro de pesquisas para vários graus de encruamento;

- preparação dos corpos de prova para ensaios mecânicos;
- ensaios mecânicos; e
- modelamento físico.

3.3.1 Comportamento mecânico

Com base nos resultados obtidos nos ensaios mecânicos em laboratório foi possível definir as equações e o comportamento mecânico do aço nas propriedades Limite de Escoamento (LE), Limite de Resistência (LR), Alongamento e Dureza. Os gráficos são mostrados abaixo:

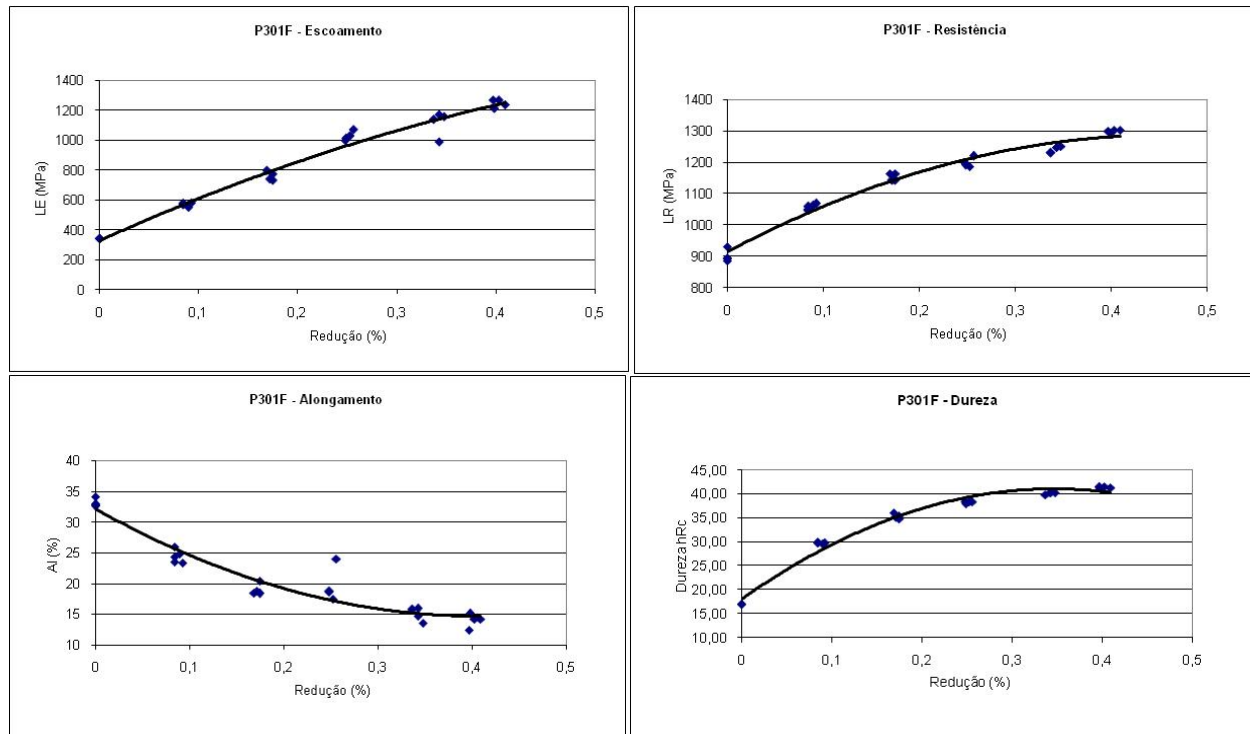


Figura 3 – Propriedades mecânicas do P301F.

4 ATENDIMENTO ÀS ESPECIFICAÇÕES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

As características mecânicas solicitadas pelo cliente conservam entre si uma forte relação. Desta forma, ao se objetivar uma redução a frio para atendimento ao Limite de Escoamento, por exemplo, o Alongamento ou o Limite de Resistência serão influenciados e poderão ou não atender ao especificado. É necessário, portanto, definir um valor de redução a frio que proporcione o atendimento a este compromisso e garanta a obtenção do material dentro do especificado.

Para atendimento aos valores de especificação negociados com o cliente foram definidas as reduções objetivadas para cada tipo de acabamento obtendo-se os valores previstos em cada uma das características mecânicas.

Os resultados previstos para cada acabamento foram plotados em gráficos tipo radar, observando que:

- a linha mais interna equivale ao LIE – Limite Inferior de Especificação; e
- a linha mais externa equivale ao LSE – Limite Superior de Especificação.

Os resultados são mostrados abaixo:

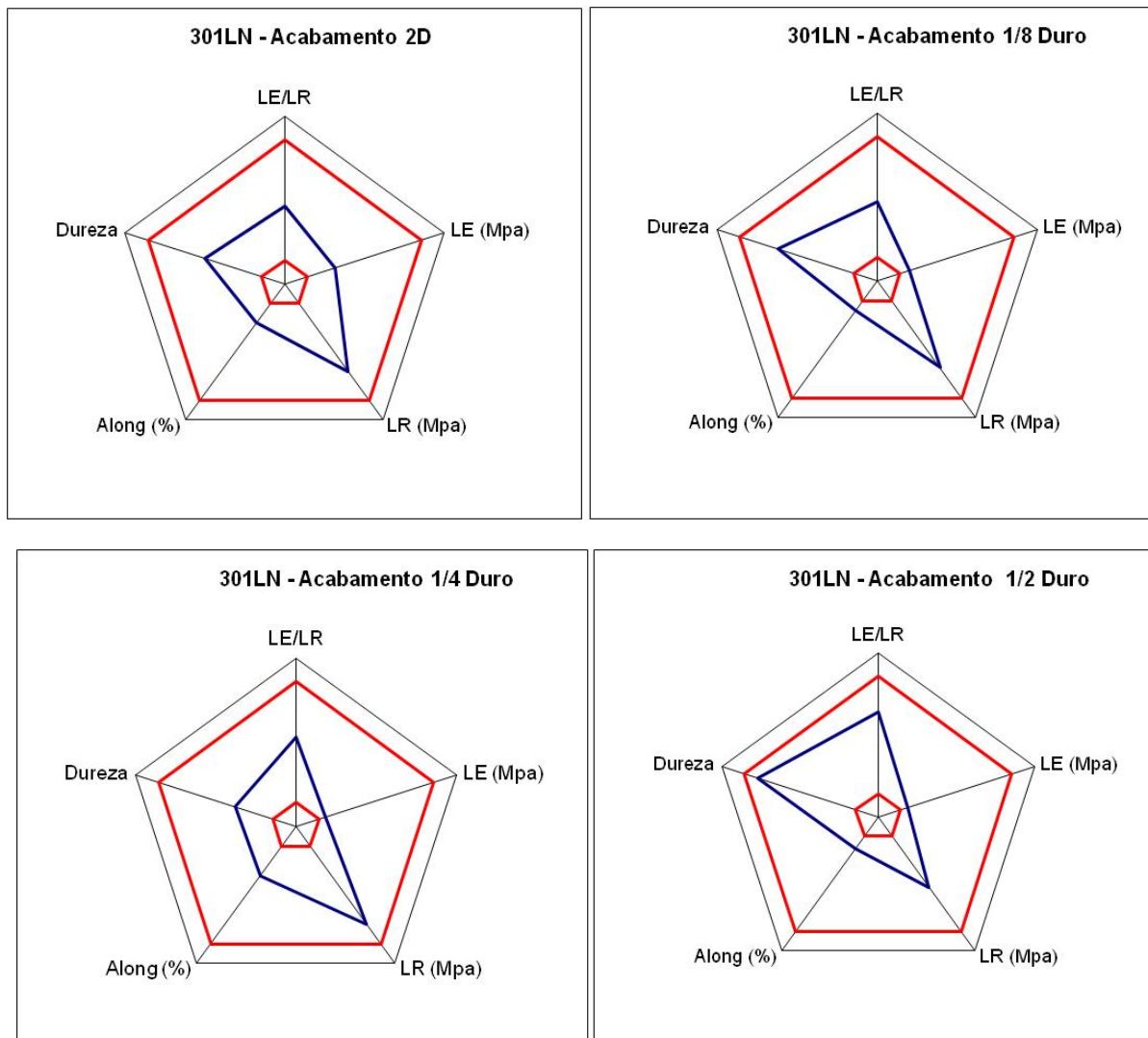


Figura 4 – Atendimento às características mecânicas do aço 301LN.

5 VENDAS E PERSPECTIVAS DE VENDAS

Desde a homologação do aço Aperam nos clientes, ocorrida em final de 2009/início de 2010, foram produzidas as quantidades mostradas abaixo:

Tabela 2 – Projeções de venda do 301LN

Ano	Vendas (t)
2010	400
2011	1.600
2012 (projeção)	1.900
2013 (projeção)	3.000

Para os anos de 2012, 2013 e 2014, em função dos eventos de Copa do Mundo de Futebol (2014) e Jogos Olímpicos (2016) vários projetos já estão confirmados ou em fase de licitação. Em alguns deles existe a necessidade de participação de matéria-prima nacional, o que aumenta as chances dos clientes de aumentar a demanda. São eles:

- Metrô BH: reforma - cerca de 200 toneladas de 301LN;
- CPTM reforma - 500 toneladas;

- Metrô de Porto Alegre – 1.150 toneladas;
- Washington (EUA) – 3.000 toneladas (prazo indefinido); e
- Metrô São Paulo – 2.160 toneladas (prazo indefinido)
-

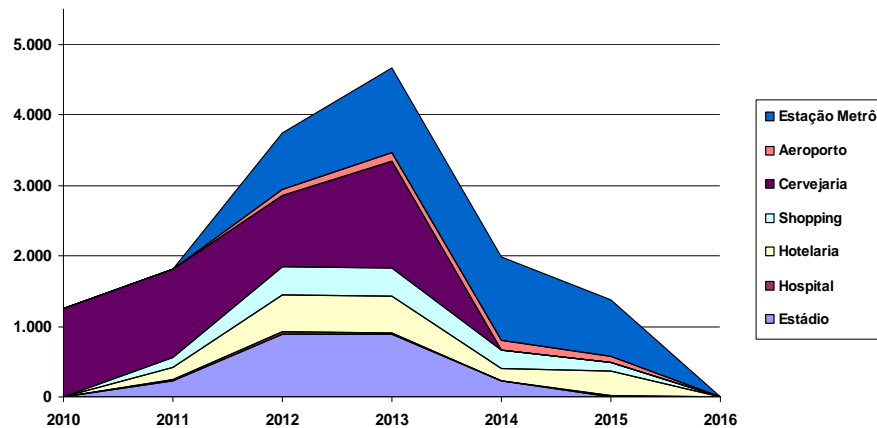


Figura 5 – Perspectivas de vendas de Inox para mobiliário urbano.



Figura 6 – Composição de metrô produzida com aço 301LN *Aperam South America*.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do aço inoxidável austenítico 301LN (Baixo Carbono e Alto Nitrogênio) para a fabricação de vagões metroviários vem preencher uma lacuna no portfólio dos produtos da *Aperam South America* e aproveitar a perspectiva de aumento de consumo deste aço em função dos investimentos necessários à realização da Copa do Mundo de Futebol em 2014 e à realização das Olimpíadas em 2016.

REFERÊNCIAS

- 1 PMBoK – Project Management Body of Knowledge; PMI - Project Management Institute; 2008.
- 2 ASTM A666 Standard, ASTM International.
- 3 ASTM Standard A240/A240M – 10b, ASTM International.