

# DESENVOLVIMENTO DE AÇO REFOSFORADO E RENITROGENADO PARA AQUECEDORES ESMALTADOS<sup>1</sup>

Herbert Christian Borges<sup>2</sup>  
Willy Ank de Moraes<sup>3</sup>  
Claudio Pereira Diogo<sup>4</sup>  
Lara Chrystinne Paes Ret<sup>5</sup>  
Claudio Coelho da Silva<sup>6</sup>

## Resumo

Das várias técnicas de recobrimento superficial, a esmaltagem, apesar de ser uma das mais antigas, é largamente empregada devido às propriedades do esmalte: resistência à corrosão, a abrasão, a altas temperaturas, a radiação (tanto raios-X quanto ultravioleta), resistência elétrica e, obviamente, estética. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um aço laminado a quente para esmaltagem com propriedades adequadas para esta aplicação, incluindo além da esmaltabilidade: conformabilidade e soldabilidade. A discussão da definição das especificações químicas e mecânicas deste aço está contida neste trabalho assim como o projeto de liga gerado ao final. Análises químicas, mecânicas e metalográficas são realizadas em amostras obtidas para avaliar o desempenho na aplicação e os resultados são apresentados e discutidos. O uso potencial deste aço para o mercado externo é confirmado pelos testes, mas por outro lado, também existe um potencial uso deste material para o mercado interno.

**Palavras-chave:** Laminados planos de aço; Escama de peixe; Renitrogenado; Refosforado; Esmaltagem; Aquecedores.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica para o 60<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Seminário: Desenvolvimento, adequação e aplicação de produtos, Belo Horizonte, 25 a 28 de Julho de 2005.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>, Analista de Produto/Desenvolvimento de novo produto, Assistência Técnica, COSIPA ([herbertborges@cosipa.com.br](mailto:herbertborges@cosipa.com.br)).

<sup>3</sup> MSc., Eng<sup>o</sup>, Téc., Analista de Produto/Desenvolvimento de novo produto, Assistência Técnica, COSIPA; Prof. Departamento Eng<sup>a</sup> Mecânica UNISANTA ([willymoraes@cosipa.com.br](mailto:willymoraes@cosipa.com.br) ou [willyank@unisanta.br](mailto:willyank@unisanta.br)).

<sup>4</sup> Téc., Assistente de Produto, Assistência Técnica, COSIPA ([claudiopereira@cosipa.com.br](mailto:claudiopereira@cosipa.com.br)).

<sup>5</sup> Eng<sup>a</sup>, Analista de Operação, Suporte Técnico da Aciaria, COSIPA ([lararet@cosipa.com.br](mailto:lararet@cosipa.com.br)).

<sup>6</sup> Téc., Assistente de Qualidade, PAINCO – SP ([coelho@painco.com.br](mailto:coelho@painco.com.br)).

## 1 INTRODUÇÃO

Produtos de aço esmaltados já conhecidos e utilizados há bastante tempo devido a sua excelente resistência à corrosão, ao aspecto visual atraente e, caso utilizados adequadamente, por apresentar uma elevada longevidade, que pode exceder dezenas de anos. Como exemplos podem-se citar: painéis e utensílios de cozinha (pratos, tigelas, etc.), produtos da linha branca (fogões, geladeiras, etc.), metais sanitários (pias, torneiras, banheiras, etc.), artefatos de decoração e/ou artístico, entre outros. Uma das mais importantes aplicações é os aquecedores de água (*boilers*), como os exemplificados na figura 1. Para se ter uma idéia do mercado, só nos Estados Unidos, existe um consumo de 9 milhões de unidades por ano de aquecedores [1].



**Figura 1.** Exemplos de aquecedores de água que utilizam aço esmaltado [2].

Nas aplicações onde aços laminados a quente de relativa resistência são necessários, aços refosforados e renitrogenados são uma possível escolha. Apesar de ser um aço relativamente comum em certos países, como os Estados Unidos, este material apresenta características distintas em relação aos aços produzidos no Brasil, sendo que ainda não haviam sido produzidos aços similares na COSIPA.

Este trabalho tem por objetivo a descrição do desenvolvimento de um aço com adições de fósforo e nitrogênio aplicável para componentes esmaltados, com requisitos de conformabilidade e soldabilidade. Estão discutidas as principais características metalúrgicas, tanto as necessárias quanto as recomendáveis para as aplicações a que se destina. Também serão destacadas as influências das características finais do aço nas etapas de desenvolvimento, especialmente no controle químico e no manuseio do material após a sua produção. Finalmente são apresentadas as propriedades obtidas do aço produzido e o seu enquadramento dentro das características desejadas.

O desenvolvimento deste aço visou a sua comercialização na forma de *Blanks*, para serem exportados para os países consumidores deste produto. Neste caso, existem vantagens relativas para a COSIPA, que estão exemplificadas abaixo:

- produto de maior valor agregado;
- enobrecimento do mix de produção sem comprometimento do laminador;
- possibilidade de exportação sem as típicas limitações dimensionais dos produtos laminados a quente;
- ampliação e diversificação de mercado;
- possibilidade de atrair parceiros para a área da COSIPA visando o processamento dos *blanks*;

## 2 CARACTERÍSTICAS DO AÇO

O projeto de um aço aplicável para componentes esmaltados, com requisitos de conformabilidade e soldabilidade como o que foi desenvolvido neste trabalho, deve levar em consideração os aspectos particulares da sua aplicação final, descritos a seguir.

### 2.1 Esmaltagem

O processo de esmaltagem consiste em se recobrir a superfície do material a ser esmaltado com uma mistura (lama) de minerais em um meio aquoso, também conhecido como “frita”. Esta camada perde a umidade, sinteriza-se e vitrifica-se com a ação de calor, acima de 800° C, durante um curto período de tempo denominado cura.

Alguns tipos de produtos esmaltados, de menores espessuras, são produzidos com aços laminados a frio e outros com aços laminados a quente, cada qual com as suas particularidades em termos da produção e aplicação dos aços. No caso de aços laminados a quente, estes são utilizados por três razões principais [3]:

- quando uma espessura maior que não pode ser obtida por um material laminado a frio é requisitada;
- quando um nível de resistência maior é necessário;
- quando a relação custo-benefício é mais efetivamente atendida por um laminado a quente.

Em ambos os casos, durante a cura da camada esmaltada, a decomposição (pirólise) da umidade presente (H<sub>2</sub>O) pode gerar defeitos, pelos seguintes mecanismos:

1. o oxigênio gerado pode reagir com o carbono presente no aço formando gás carbônico que se desprende e, caso seja formado em grande quantidade, pode provocar bolhas e/ou furos que persistem posteriormente após o resfriamento e solidificação do esmalte, prejudicando a sua qualidade;
2. o hidrogênio, que tem grande poder de penetração (difusão) no aço, pode se desprender do metal posteriormente, acumulando-se na interface com o esmalte até que a pressão do gás causa uma ruptura localizada de uma parcela da camada esmaltada, formando o defeito “escama de peixe” (*fishscale*).

Para se evitar o problema gerado pelo oxigênio, uma simples solução seria utilizar os menores teores de carbono possíveis. Por outro lado, o problema do hidrogênio é mais complexo e existem três possíveis soluções:

1. fazer a esmaltagem somente em uma das superfícies, de modo que a superfície não esmaltada possa servir de caminho livre para a emissão do hidrogênio;
2. empregar materiais com espessuras suficientemente grandes para que o hidrogênio seja absorvido pelo material ou que vá se desprendendo lentamente de modo a não produzir o defeito “escama de peixe”;
3. produzir “armadilhas” dentro do material de modo que hidrogênio formado seja aprisionado dentro do material; estas “armadilhas” podem ser pequenos defeitos (normalmente microtrincas) induzidas durante a laminação a frio ou são simplesmente as interfaces de inclusões e/ou precipitados, formadas das adições da aciaria, tais como: TiN, TiC, TiS, AlN, Fe<sub>3</sub>C, BN, NbC, NbN, VC, VN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnS, MnO [3].

No caso de materiais laminados a quente, a espessura maior é um dos fatores que tendem a auxiliar a esmaltagem das peças. A diminuição do teor de carbono e introdução de determinados tipos de inclusões e/ou precipitados podem oferecer um melhor desempenho deste material nas operações de esmaltagem.

## 2.2 Conformabilidade

A conformabilidade de um aço é uma característica que normalmente é estimada por meio dos resultados obtidos de um ensaio de tração, estando normalmente associada com os seguintes parâmetros:

- baixo limite de escoamento (LE ou  $\sigma_{ys}$ );
- baixa relação elástica (LE/LR ou  $\sigma_{ys}/\sigma_{UTS}$ );
- grande alongamento (ductilidade).

Estas características permitem que o material apresente uma boa capacidade de deformação plástica, durante o processamento. O limite de escoamento baixo favorece a conformação com menores forças aplicadas, mas não é característica primordial, sendo necessário um maior valor do expoente de encruamento (segundo definido pela equação de Hollomon ou  $\sigma = K \cdot \epsilon^n$ ) ou uma relação elástica mais favorável.

Para obter estas características é importante que o material possua um menor teor de elementos de liga. Também auxilia bastante o processamento caso o aço possua tratamento de modificação de inclusões (globulização), obtido eficientemente com adições de cálcio-silício (Ca-Si). O processamento na laminação também influencia os valores das propriedades mecânicas no produto final, esquemas de passe, temperaturas de laminação e método de resfriamento mais adequados devem ser utilizados para garantir uma boa estampabilidade do material.

## 2.3 Soldabilidade

Como os *blanks* poderão sofrer uma operação de soldagem, depois de conformados, deve-se garantir sua soldabilidade por um menor teor de carbono equivalente ( $C_{eq}$ ), normalmente quantificado pela fórmula do Instituto Internacional de Soldagem (IIW):

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Mo + Cr + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

Sendo assim, a principal garantia de soldabilidade reside na especificação de um aço com um menor teor de carbono com limitado teor de determinados elementos que também aumentam o  $C_{eq}$ , como o manganês. A experiência da COSIPA [4] demonstra que aços estruturais com teores de carbono equivalente até 0,25% são razoavelmente soldáveis, sem gerar estruturas martensíticas na região do cordão de solda.

## 2.4 Resistência Mecânica

Na contramão com as demais características, a resistência mecânica é tradicionalmente obtida pela adição de elementos de liga. Porém, neste caso particular, deve-se garantir que tais adições:

1. não prejudiquem a soldabilidade;

2. não comprometam a esmaltabilidade;
3. não diminuam excessivamente a ductilidade;
4. atuem em mecanismos de endurecimento pouco sensíveis ao tratamento térmico durante o processo de cura do esmalte.

Assim sendo, o projeto de liga foi feito optando-se pelos elementos abaixo descritos, de acordo com as suas respectivas justificativas em face da aplicação final do material:

- **manganês** – este elemento aumenta eficientemente o limite de escoamento do aço com certa diminuição de sua soldabilidade, por isso deve ser utilizado em quantidades limitadas;
- **fósforo** – este elemento é ainda mais eficiente em termos de ganho de resistência mecânica, mas possui a desvantagem de induzir uma fragilização cada vez maior no aço, à medida que este é adicionado, por outro lado, a sua tendência de segregação em linhas pode ser útil, até certo grau, para a estampabilidade;
- **nitrogênio** – o nitrogênio tem uma atuação muito semelhante a do carbono no aço em termos de elevação da resistência mecânica, porém com um efeito fragilizante muito maior, por isso este elemento deve ser utilizado em quantidade ainda mais limitada que os demais;
- **alumínio** – a tendência do alumínio em se precipitar nas temperaturas de processamento do aço na linha de laminação a quente e o efeito benéfico destes precipitados torna apta a adição de alumínio ao aço. Os precipitados formados melhoram o nível de resistência mecânica, além de possuírem a função de “armadilhas” para o hidrogênio oriundo da esmaltagem.
- **silício** – este elemento possui função semelhante ao manganês, mas a tendência de formar carepas (óxidos) sobre a superfície do aço limita a sua adição em quantidades mais elevadas (aproximadamente acima de 0,20%);
- **cálcio** – a adição deste elemento durante o processamento líquido do metal induz a globulização das eventuais inclusões de sulfetos presentes no aço, tornando-as mais adequadas às operações de conformação mecânica pelo aumento da capacidade de deformação plástica do aço.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para iniciar o desenvolvimento deste aço, referenciou-se em especificações de empresas tradicionalmente compradoras de aço laminado a quente para esmaltagem, com requisitos de conformabilidade e resistência [5,6]. A especificação geral adotada pela COSIPA, está de acordo com a norma ASTM A1011/A1011M [7].

A Tabela 1 ilustra a composição química definida para este desenvolvimento, que foi baseada na composição de um aço estrutural de média resistência, porém com um menor conteúdo em carbono, prevendo-se adição de P e N, de acordo com as características apresentadas no item 2.

**Tabela 1.** Composição química especificada.

	%C	%Mn	%P	%Si	%N	%Al	%S
<b>Min.</b>	–	–	> 0,025	> 0,10	> 0,0150	> 0,020	–
<b>Máx.</b>	< 0,10	< 1,00	–	–	–	–	< 0,025

Nota: Placas produzidas somente por lingotamento contínuo.

Como propriedades mecânicas de tração, objetivaram-se àquelas descritas na Tabela 2. Estas propriedades estão compatíveis com a especificação das empresas compradoras deste tipo de aço e com o uso final desejado.

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas objetivadas em tração na direção longitudinal.

LE (MPa) <b>310 a 427</b>	LR (MPa) <b>380 A 550</b>	ALONGAMENTO <b>25% Mínimo</b>
TIPO DE CP <b>Longitudinal</b>	BASE DE MEDIDA, L <sub>0</sub> (mm) <b>50,00</b>	RE, (LE/LR) <b>0,85 máxima</b>

Foram vazadas duas corridas em um conversor com sopro combinado. Placas de uma destas corridas foram laminadas, produzindo 12 volumes (fardos) de chapas de aço nas espessuras 2,84 x 1060 x 3650 e 3,99 x 1060 x 3650 nominais.

Posteriormente à liberação do material, fardos de chapas foram encaminhadas à PAINCO que ficou encarregada da produção de *blanks* para teste deste material em clientes no exterior. Estes *blanks* foram cortados a plasma, devidamente embalados e embarcados para uma *Trading* de onde foram encaminhados para testes em potenciais clientes.

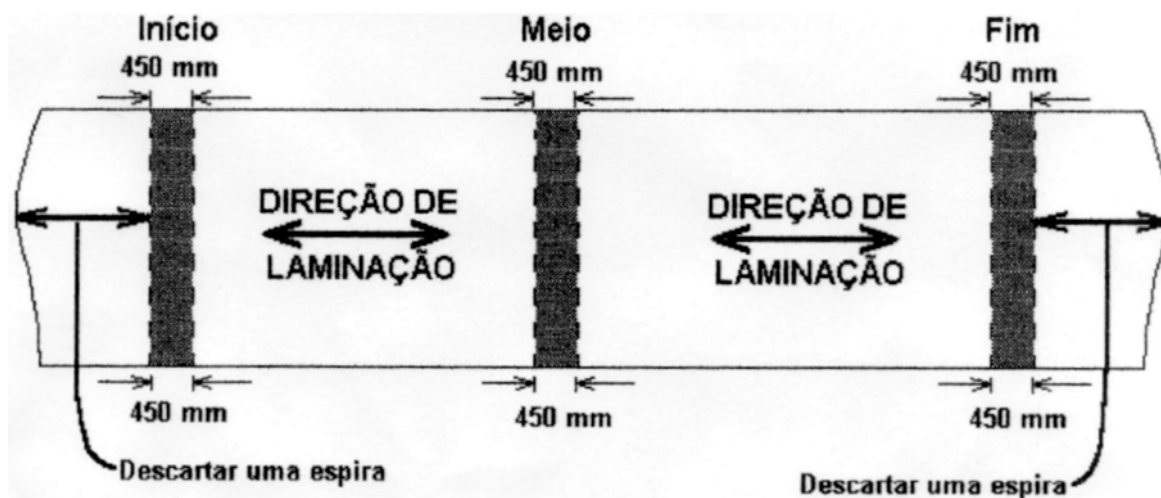
#### 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Dos materiais produzidos, foram separadas 5 amostras cujos resultados de ensaios de tração, para liberação do material, estão mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Propriedades mecânicas de liberação do material na Usina.

e(mm)	Direção	LE(MPa)	LR(MPa)	L0(mm)	Along(%)	LE/LR
2,84	LONGITUDINAL	351	468	50	42	0,75
2,84	LONGITUDINAL	362	482	50	32	0,75
2,84	LONGITUDINAL	362	482	50	32	0,75
3,99	LONGITUDINAL	330	466	50	36	0,71
3,99	LONGITUDINAL	322	451	50	38	0,72

Posteriormente algumas destas chapas foram reamostradas, em três diferentes posições ao longo da bobina (início, meio e fim), conforme ilustra a Figura 2.



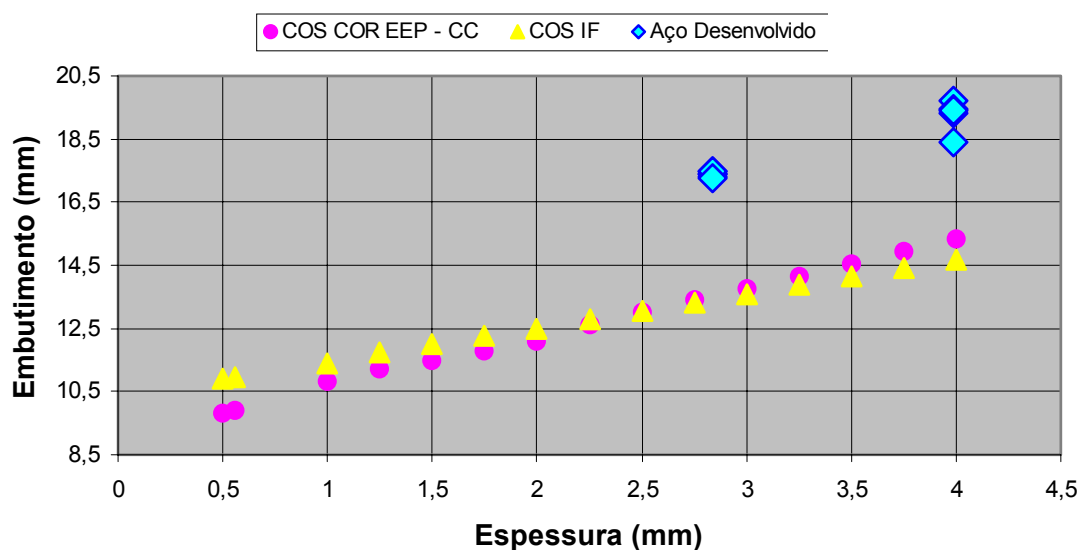
**Figura 2.** Posições de retirada dos CP's testados ao longo da bobina.

Além do ensaio de tração, foram realizados ensaios de estampabilidade (embutimento Erichsen) e dureza. Os novos resultados estão disponibilizados na Tabela 4, a ligeira diferença entre os ensaios adicionais e os de liberação pode ser creditadas ao envelhecimento deste material, naturalmente maior. O posterior teste de amostras remanescentes na Usina, cujos resultados não estão mostrados neste trabalho, apontou para um envelhecimento estabilizando-se em torno de até 70MPa.

Após o ensaio de embutimento Erichsen, nota-se que os valores encontrados poderiam atender aos requisitos da norma NBR 5915 [8] (para laminados a frio) extrapolados, conforme mostrado no gráfico da Figura 3. Estes resultados sugerem a aptidão deste material para a conformação mecânica.

**Tabela 4.** Propriedades mecânicas dos ensaios adicionais na Usina.

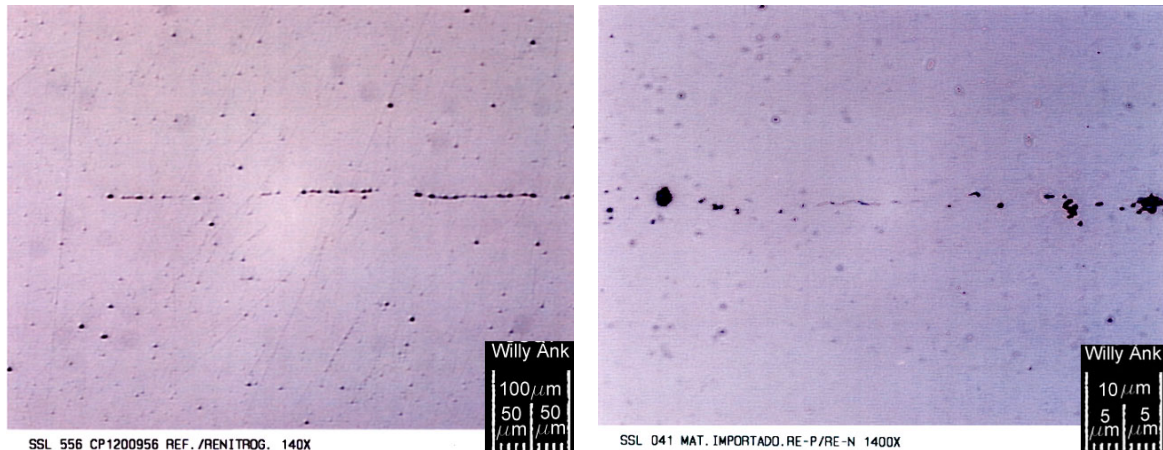
e	Posição	Direção	L0	LE	LR	Along	LE/LR	Dureza HRB	Embutimento
3,99	Início	LONGITUDINAL	50	418	518	31	0,81	86,67	19,7
3,99	Meio	LONGITUDINAL	50	368	461	34	0,80	77,67	19,467
3,99	Final	LONGITUDINAL	50	342	460	35	0,74	77,67	19,3
			<b>Média:</b>	<b>376</b>	<b>480</b>	<b>33</b>	<b>0,78</b>	<b>81</b>	<b>19,5</b>
Diferença (liberação/adicional):				11,5%	-1,0%	-5,6%	12,4%		
3,99	Início	LONGITUDINAL	50	353	464	34	0,76	78	19,4
3,99	Meio	LONGITUDINAL	50	412	506	28	0,81	84,67	18,4
			<b>Média:</b>	<b>383</b>	<b>485</b>	<b>31</b>	<b>0,79</b>	<b>81</b>	<b>18,9</b>
Diferença (liberação/adicional):				27,7%	12,3%	-26,3%	13,0%		
2,84	Início	LONGITUDINAL	50	352	454	31	0,77	75,67	17,5
2,84	Meio	LONGITUDINAL	50	339	451	30	0,75	74	17,3
2,84	Final	LONGITUDINAL	50	357	453	32	0,79	75,67	17,367
			<b>Média:</b>	<b>349</b>	<b>453</b>	<b>31</b>	<b>0,77</b>	<b>75</b>	<b>17,4</b>
Diferença (liberação/adicional):				-3,4%	-3,7%	-28,6%	0,3%		
2,84	Início	LONGITUDINAL	50	363	466	28	0,78	77	17,4
2,84	Meio	LONGITUDINAL	50	362	457	30	0,79	76	17,467
2,84	Final	LONGITUDINAL	50	416	510	30	0,82	82,67	17,267
			<b>Média:</b>	<b>380</b>	<b>477</b>	<b>29</b>	<b>0,80</b>	<b>79</b>	<b>17,4</b>
Diferença (liberação/adicional):				-0,1%	-5,1%	-6,3%	5,5%		



**Figura 3.** Valores requisitados e extrapolados (sobrestimados) para o embutimento Erichsen para o aço NBR 5915-EEP, COS COR EEP-CC e COS IF e comparação com os resultados obtidos das amostras do material produzido na COSIPA.

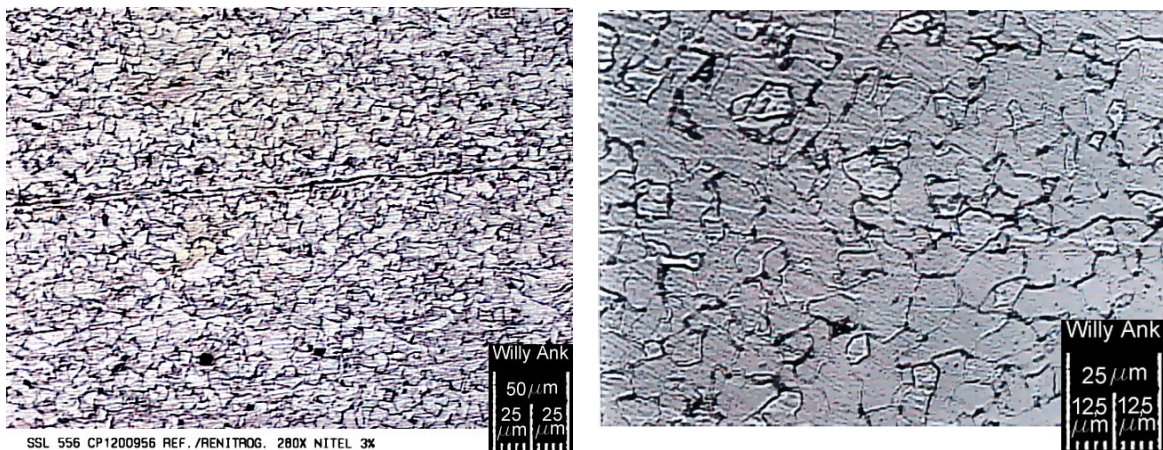


Na Figura 4 está ilustrado a limpidez interna do aço. Trata-se de um aço com várias partículas de inclusões, a grande maioria composta na base de cálcio-aluminatos, extremamente duros e de geometria esférica. Estes tipos de inclusões auxiliam o processo de esmaltagem, tornando-se “armadilhas” para o aprisionamento do hidrogênio nas suas interfaces, além de possuir um menor impacto sobre a ductilidade do material, por gerar menor concentração de tensões durante a deformação plástica do material.



**Figura 4.** Aspecto da limpidez do aço produzido, amostras longitudinais, ampliação no microscópio 200 e 1000X, sem ataque químico.

A Figura 5 ilustra a microestrutura do aço na região central das chapas, com duas diferentes ampliações. Pode-se notar uma estrutura ferrítica-perlítica típica, com um tamanho de grão ASTM 7 (aproximadamente). Pode-se notar, também, como uma das características deste aço a presença de linhas de segregação, associadas ao fósforo que estão posicionadas ao longo da direção de laminação do material.



**Figura 5.** Aspecto da microestrutura do aço produzido, amostras longitudinais, ampliação no microscópio 200 e 500X, ataque Nital a 2%.

Apesar de não ser uma propriedade intrínseca dos materiais laminados, é necessário que os *blanks* possuam uma maior homogeneidade dimensional, tanto no que diz respeito à região das eventuais rebarbas, quando na espessura média em si. Os gráficos da figura 6 ilustram as respectivas cartas de espessura obtidas para os dois primeiros volumes laminados deste material. Estes gráficos são obtidos pela medição da espessura no centro da tira feita pela absorção diferenciada de um feixe de raios-X.



Apesar de serem os primeiros volumes laminados, houve um nível de acerto relativamente bom para este material, o que aponta para uma boa homogeneidade dimensional dos *blanks* a serem produzidos. Vários fardos de blanks deste material foram encaminhados para o exterior para testes de qualificação em potenciais clientes. Os primeiros testes mostraram resultados positivos, apontando para a viabilização de fornecimento deste material.

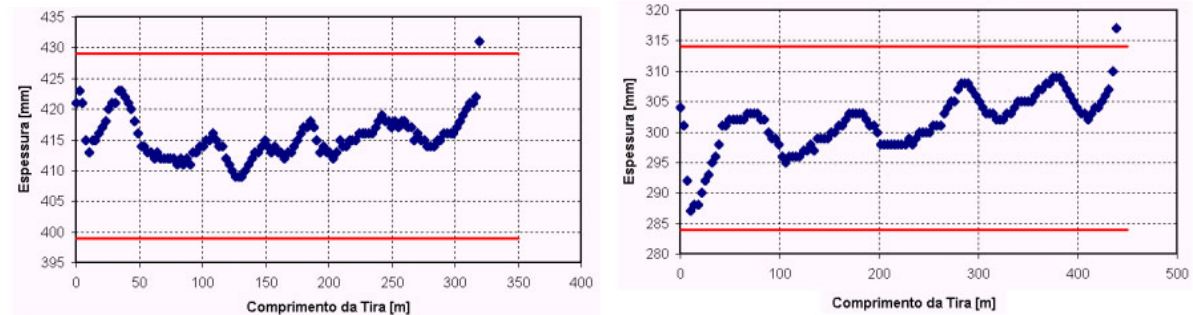


Figura 6. Desempenho na espessura dos dois primeiros volumes processados na COSIPA.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando os valores de composição química e propriedades mecânicas obtidas nos primeiros volumes deste material produzido na COSIPA, pode-se concluir que este aço deverá apresentar bom desempenho na aplicação a qual foi projetado.

Por ser um aço que apresenta uma grande propensão ao envelhecimento, deve-se prever a alteração de suas propriedades mecânicas, objetivando-se como valores médios àqueles apresentados quando o material se encontrar na condição envelhecida.

As primeiras experiências de fornecimento a nível experimental mostraram resultados positivos. Necessita-se realizar maiores testes, assim como a possibilidade de aplicação deste material no mercado nacional, focando especialmente a linha branca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 COSIPA, **Tamanho do mercado dos EUA para aquecedores de água**. Relatório interno, 2002.
- 2 American Heater Company; **Products**. [www.americanwaterheater.com.br](http://www.americanwaterheater.com.br), 2003.
- 3 HUYSER, W.K.; **Hot rolled steels for porcelain enameling**. Ceramic Engineering Procedures, pp. 19-21, n.6, v.16, 1995.
- 4 MORAIS, W.A. et. al.; **Desenvolvimento na Cosipa do aço API 5CT J55 para tubos de pequeno e grande diâmetros**, 41<sup>o</sup> Seminário de Laminação da ABM, Joinville (SC), 2004.
- 5 American Heater Company; **Steel Specifications – Hot rolled steel for tank shell: circle blanks**. 1996.
- 6 A. O. Smith Water Products Co., **Tank Shell Specifications**, 2003.
- 7 A1011/A1011M-04a; **Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy and High-Strength Low-Alloy with Improved Formability**, Book of Standards Vol. 01.03, 2004.
- 8 ABNT NBR 5915, **Chapas finas a frio de aço-carbono para estampagem**. 2003.

# DEVELOPMENT AN ENAMELING HOT ROLLED STEEL FOR WATER HEATERS<sup>7</sup>

Herbert Christian Borges<sup>8</sup>  
Willy Ank de Moraes<sup>9</sup>  
Claudio Pereira Diogo<sup>10</sup>  
Lara Chrystinne Paes Ret<sup>11</sup>  
Claudio Coelho da Silva<sup>12</sup>

## Abstract

Among the many coating techniques used for steel, enameling, which is one of the most ancient, is widely employed due to the properties of enamel: resistance to corrosion, abrasion, high temperatures, radiation (X-rays and ultraviolet), electrically insulating and aesthetics, of course. The objective of this work was to develop an enameling hot rolled steel with matte properties for this application including over enamability: formability and weldability. The discussion to evaluate the mechanical and chemical specifications is reported as well as the finish alloy design. Chemical, mechanical, and metallographic analyses are carried out in tested specimens to performance evaluating and the results presented and discussed. The potential use of this steel mainly for outside market is confirmed by tests. On the other hand, there is a potential use of this product in the internal market too.

**Key-words:** Hot rolled steels; Fishscale; Porcelain enameling; Water heaters.

---

<sup>7</sup> *Contribuição técnica para o 60º Congresso Anual da ABM - Seminário: Desenvolvimento, adequação e aplicação de produtos, Belo Horizonte, 25 a 28 de Julho de 2005.*

<sup>8</sup> *Engº, Analista de Produto/Desenvolvimento de novo produto, Assistência Técnica, COSIPA (herbertborge@cosipa.com.br).*

<sup>9</sup> *MSc., Engº, Téc., Analista de Produto/Desenvolvimento de novo produto, Assistência Técnica, COSIPA; Prof. Departamento Engª Mecânica UNISANTA (willymoraes@cosipa.com.br ou willyank@unisanta.br).*

<sup>10</sup> *Téc., Assistente de Produto, Assistência Técnica, COSIPA (claudiopereira@cosipa.com.br).*

<sup>11</sup> *Engª, Analista de Operação, Suporte Técnico da Aciaria, COSIPA (lararet@cosipa.com.br).*

<sup>12</sup> *Téc., Assistente de Qualidade, PAINCO – SP (coelho@painco.com.br).*