

# DESENVOLVIMENTO DE AÇOS API NA CST-ARCELOR BRASIL<sup>1</sup>

Ricardo Porto<sup>2</sup>

Wilson Guilherme B. A. Ney<sup>3</sup>

Everaldo Antônio Caldeira<sup>4</sup>

Carlos Alberto Perim<sup>5</sup>

Roberto de Oliveira Costa<sup>6</sup>

## Resumo

Aços para tubos para produção, exploração e transporte de gás e óleo para indústria petrolífera têm merecido posição de destaque no mercado internacional e nacional, principalmente após a elaboração do plano estratégico da Petrobrás que visa aumentar o consumo e a distribuição de gás/petróleo no Brasil e do crescente consumo destes produtos no mundo. Neste cenário, a CST - Arcelor Brasil vem desenvolvendo e atendendo às demandas de mercado no fornecimento de placas e bobinas laminadas a quente com absoluto sucesso e baixo tempo de desenvolvimento. A participação deste material no mix de produção da CST-Arcelor Brasil tem aumentado, chegando em 2006 a aproximadamente 9% do mix de produção. Para 2007, dentre os desenvolvimentos previstos, devem ser destacados o desenvolvimento do grau X80 para *line pipe* e material médio carbono com adição de boro para *casing* e *tubing* com requisito de tratamento térmico, sendo ambos para o mercado de bobinas a quente.

**Palavras-chave:** Aços para tubos; Tubos; Gasodutos

## DEVELOPMENT OF API STEEL GRADES AT CST – ARCELOR BRASIL

### Abstracts

The production of API steel grades for exploration and transport of gas and oil has deserved special notability in the national and international markets, mainly due to Petrobrás' Strategical Plan which aims an increase on the consumption and distribution of gas and petroleum in Brazil. Besides, it has been observed a significantly increase on the consumption of this products all over the world. In this sense, CST – Arcelor Brasil is developing and complying the market demands of API steel grades as slabs and hot coils as well. Just to confirm CST's commitment on this process, the API steel products mix at CST has reached, in 2006, around 9% of the total production. As challenges for 2007, it's possible to mention the production of the grades API X80 for line pipe application and medium carbon with boron addiction for casing and tubing application (thermal treatment required), both directed to the hot coils market.

**Key words:** Steel grades for tubing; Pipes; Pipelines.

<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> *Engenheiro Metalurgista, Especialista de Desenvolvimento de Produto da Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST;*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Especialista de Desenvolvimento de Produto da CST*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Especialista da Divisão de Assistência Técnica da CST*

<sup>5</sup> *Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Membro da ABM, Especialista da Unidade Técnica da CST;*

<sup>6</sup> *Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Especialista da Unidade Técnica da Laminação de Tiras a Quente da CST*

# 1 INTRODUÇÃO

A norma API foi criada pela “American Petroleum Institute” durante a 1ª Guerra Mundial com objetivo de uniformizar os requisitos necessários para fornecimento de tubos de aço utilizados na extração/produção e transporte de óleo, gás e água.<sup>[1]</sup>

A utilização de tubos para transporte de gás/óleo faz-se necessário, pois, de forma geral, os locais onde estas substâncias são extraídas estão distantes dos grandes centros de consumo, como pode ser visto no exemplo abaixo referente aos gasodutos na América do Norte.

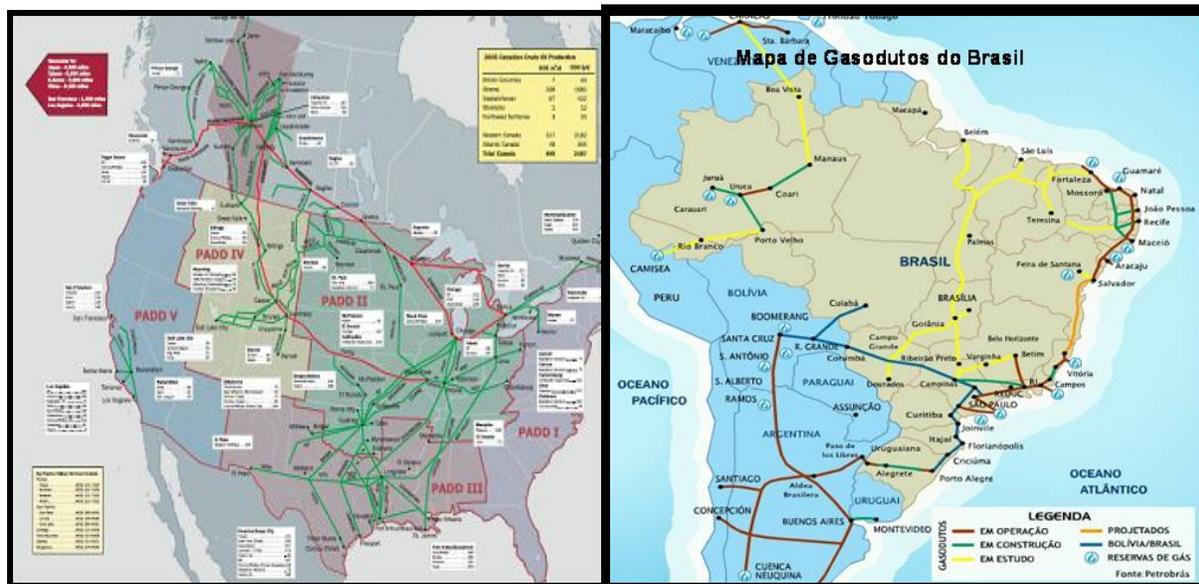


Figura 1 – Gasodutos na América do Norte<sup>[2]</sup> e no Brasil.<sup>[3]</sup>

A Petrobrás, visando desenvolvimento do mercado de gás natural, anunciou em seu plano estratégico, investimentos superiores a US\$ 3,0 bilhões em gasodutos no Brasil. Com este investimento, estima-se aumento de consumo de 30,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia para 77,6 milhões de m<sup>3</sup>/dia até 2010.<sup>[2]</sup>

A Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP), responsável pela produção de 78% da produção de petróleo e gás no mundo, também está prevendo aumento no consumo mundial de petróleo e gás e possui plano de investimento de mais de US\$ 100 bilhões até 2010 em exploração, gasodutos e terminais de exportação.<sup>[4]</sup>

No que se refere ao material utilizado para gasodutos / oleodutos, os projetistas buscam utilizar aços com requisitos de propriedades mecânicas e tenacidade cada vez mais elevados, visando aumento de segurança operacional, de produtividade e redução do peso do gasoduto. Esta tendência tem-se mostrado verdadeira também em tubos para exploração, tendo em vista que a extração de petróleo/gás pode ser realizada em águas profundas, como é o caso do Brasil, que já está realizando perfurações a profundidades superiores a 1800 metros (Figura 3).

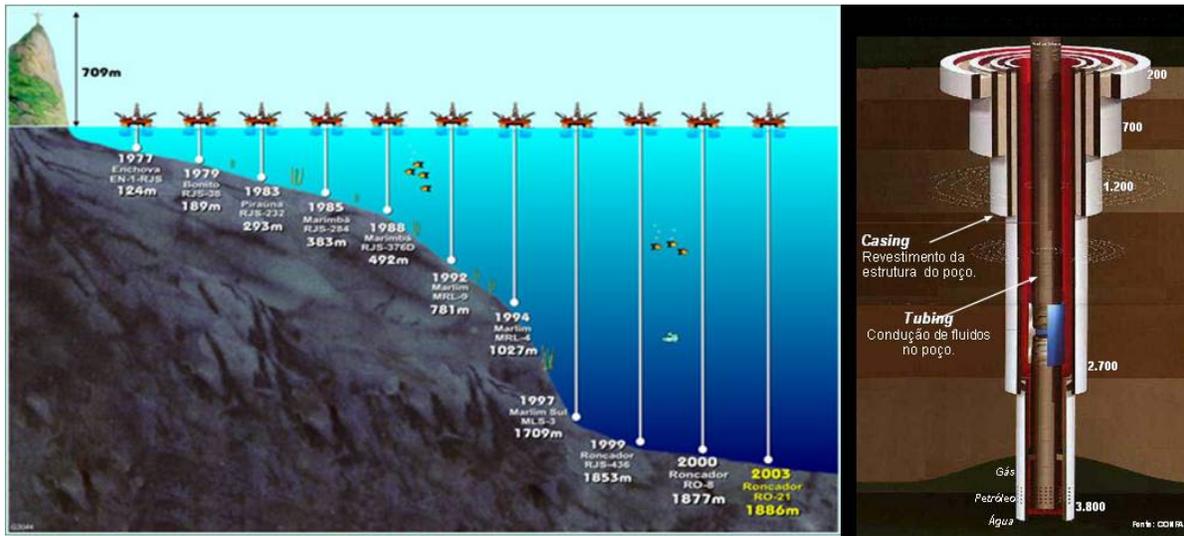


Figura 2 – Exploração de Petróleo em Águas Profundas.<sup>[2]</sup>

## 2 PROCESSAMENTO TERMOMECÂNICO

Os requisitos da aplicação (propriedades mecânicas, tenacidade, soldabilidade, etc) do material são obtidos através da combinação entre a composição química e o processamento termomecânico especificado. A figura a seguir mostra a conexão entre mecanismos, microestruturas e propriedades de um aço.

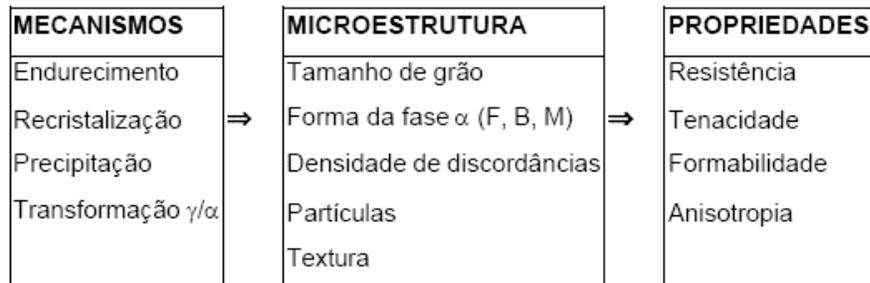
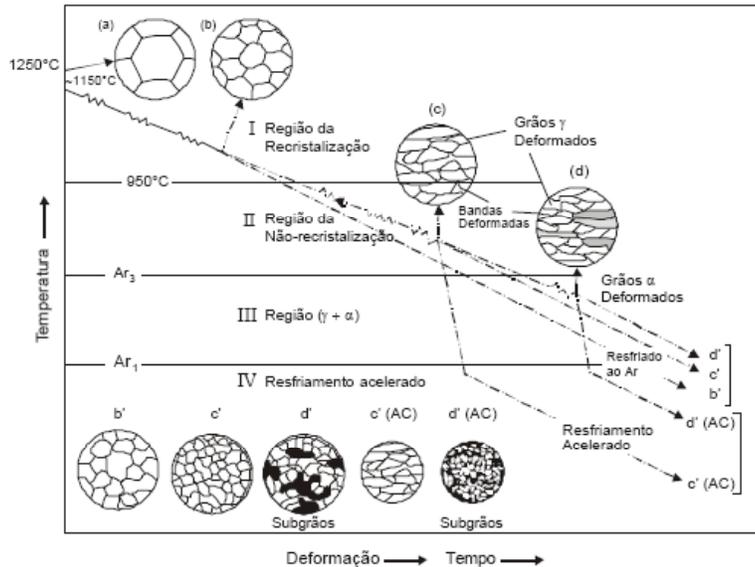


Figura 3 – Conexão entre Mecanismos, Microestruturas e Propriedades em Aços<sup>[5]</sup>

As características do processamento termomecânico dependem das propriedades específicas e da composição química do aço. A Figura 4 mostra de forma esquemática possíveis variações microestruturais que ocorrem durante a deformação a quente de aços baixo carbono microligados.



**Figura 4:** Ilustração Esquemática das Mudanças Microestruturais que Ocorrem Durante o Processo de Conformação a Quente do Aço. <sup>[5,6]</sup>

Conforme se pode observar, a temperatura de deformação, a quantidade de deformação, método de resfriamento e a composição química do aço interferem de forma decisiva nas propriedades mecânicas do produto obtido.

### 3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para atender aos requisitos da aplicação, as empresas produtoras de aço têm buscado utilizar aços microligados para tubos para gasodutos/oleodutos e aços médio carbono podendo ter adição de elementos como boro, molibdênio, cromo, dentre outros, visando atender às propriedades mecânicas no tubo após tratamento térmico.

Os elementos microligantes usualmente utilizados são o nióbio, vanádio e titânio. O percentual destes elementos é freqüentemente inferior a 0,15%. Normalmente, os elementos de liga afetam a microestrutura através da precipitação de segunda fase. A influência dos principais elementos de liga são:

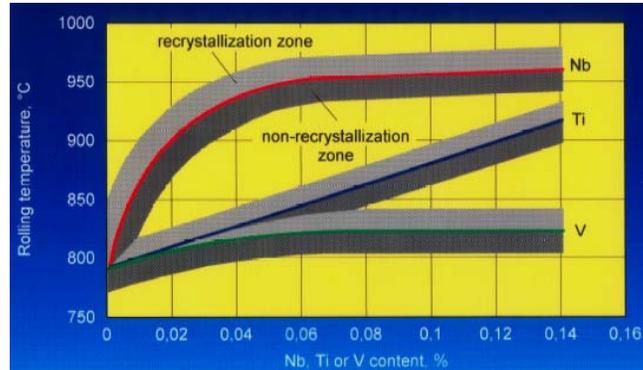
#### 3.1 Titânio

- Forma Nitreto de Titânio (TiN) a temperaturas acima da utilizada na laminação;<sup>[5-9]</sup>
- Atua como inibidor do crescimento do grão austenítico e redutor do Nitrogênio em solução sólida;<sup>[5-7]</sup>
- Adições da ordem de 0,02% melhoram a tenacidade. Entretanto, acima da relação estequiométrica com Nitrogênio ( $Ti \times N = 3,42$ ), apresenta efeito deletério na tenacidade do aço.<sup>[10]</sup>

#### 3.2 Nióbio

- Forma carboneto, nitreto e carbonitreto de nióbio - Nb(C,N) na faixa de temperatura de laminação;

- Atua no:
  - controle do tamanho de grão austenítico na faixa de temperatura de recristalização;
  - aumento da Temperatura de Não Recristalização ( $T_{nr}$ );



**Figura 5:** Influência dos Elementos de Liga na Temperatura de Não Recristalização<sup>[5-11]</sup>

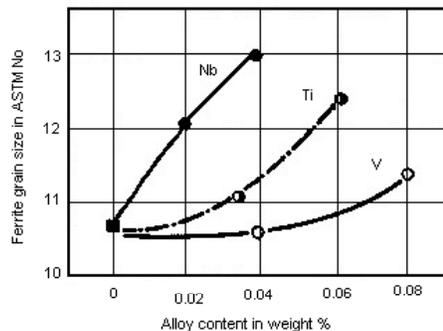
- redução da temperatura de transformação  $\gamma/\alpha$ ;
- endurecimento por precipitação no campo austenítico (induzido pela deformação) e na interface ( $\gamma / \alpha$ ).

### 3.3 Vanádio

- Forma precipitados finos de carboneto e nitreto de vanádio V(CN) durante a transformação  $\gamma/\alpha$ ; <sup>[5-11]</sup>
- Atua no endurecimento por precipitação; <sup>[5-11]</sup>
- Com a adição de Titânio e Vanádio há formação de TiN, bem como do precipitado carboneto de vanádio (VC).

### 3.4 Influência dos Elementos Microligantes no Tamanho de Grão Ferrítico

Dentre os principais elementos microligantes, o nióbio é o elemento que apresenta maior efetividade como elemento refinador de grãos, conforme Figura 6:



**Figura 6:** Influência dos Elementos Microligantes no Tamanho de Grão Ferrítico<sup>[12]</sup>

## 4 PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE

No processo de laminação a quente é importante que se tenha conhecimento dos mecanismos que estão atuando em cada etapa do processamento, obtendo-se desta forma, otimização do processo e redução de custo de produção.

O processo convencional de laminação ocorre da seguinte maneira (Figura 7):

**Forno de Reaquecimento de Placas:** A placa é aquecida até a temperatura de aproximadamente 1250°C. Neste processo, ocorre crescimento de grão e para minimizar este crescimento é adicionado Ti no aço que forma TiN durante o processo de lingotamento;

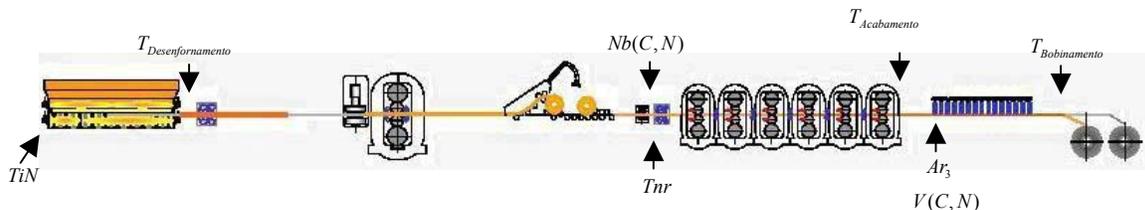
**Laminador de Desbaste:** A placa é laminada para espessura de entrada do trem acabador. Durante esta etapa ocorre recristalização e crescimento de grão, podendo, dependendo da temperatura de processamento, haver precipitação de NbC;

**Coil Box:** Tem a função de homogeneizar a temperatura da tira;

**Trem Acabador:** A tira é reduzida para a espessura final da bobina. Esta etapa deve ser realizada com temperaturas inferiores à  $T_{nr}$  e superiores à de transformação de fase ( $Ar_3$ ); Nesta etapa, visa-se aumento de propriedade mecânica através de conformação mecânica;

**Mesa de Resfriamento:** Ocorre o resfriamento da tira até a temperatura de bobinamento. Nesta etapa ocorre a transformação de fase, precipitação do V (C,N) e obtenção da microestrutura final do material;

**Bobinadeira:** A tira é bobinada, cintada e marcada. Trata-se da etapa final para obtenção das propriedades mecânicas requeridas, em função da temperatura do processo de bobinamento.



Efeito Metalúrgico dos Elementos de microligantes (Ti, Nb e V)				
Forno	Desbaste	Coil Box	Trem Acabador	Resfriamento/Bobinadeira
Zona de Recristalização e Crescimento de grão			Zona de Não Recristalização	
Controle de Tamanho de Grão - TiN				
		Controle de Tamanho de Grão - Nb (C,N)	Endurecimento por Conformação Mecânica	Endurecimento por Precipitação - V (C,N)
				Transformação de Fase $\gamma/\alpha$

Figura 7 – Processo de Laminação a Quente [13,14]

## 5 DESENVOLVIMENTO

A produção de aços para tubos na CST - Arcelor Brasil vem ganhando posição de destaque, sendo responsável por aproximadamente 9% do mix em 2006. Do total produzido, 61,5% foi fornecido como placa e 38,5% como produto bobina a quente.

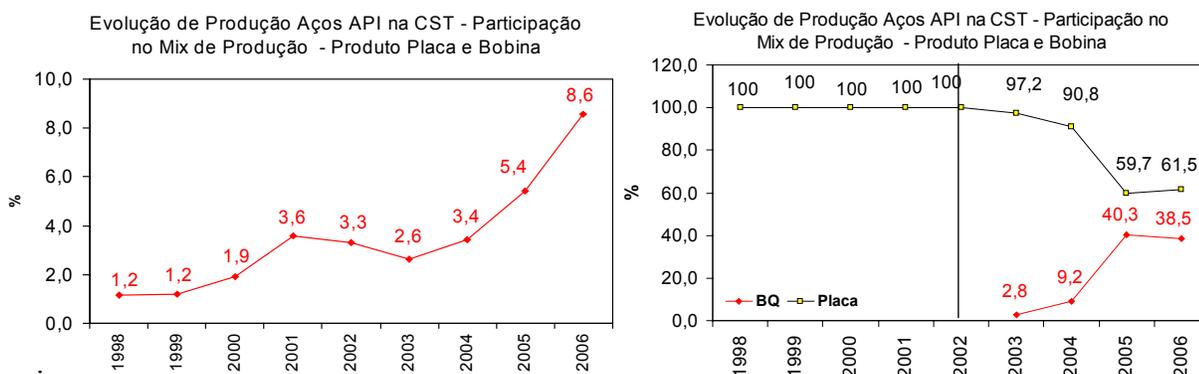


Figura 8 – Participação de Aços para Tubos no Mix de Produção

A tendência de produção de aços com requisito de elevada propriedade mecânica e tenacidade tem-se confirmado pela CST, conforme pode ser observado na Figura 9, ou seja, aços com requisito de tratamento térmico para *casing* e *tubing* (exploração e produção de óleo e gás) e aços graus superiores a X60 para *line pipe* (transporte de óleo e gás).

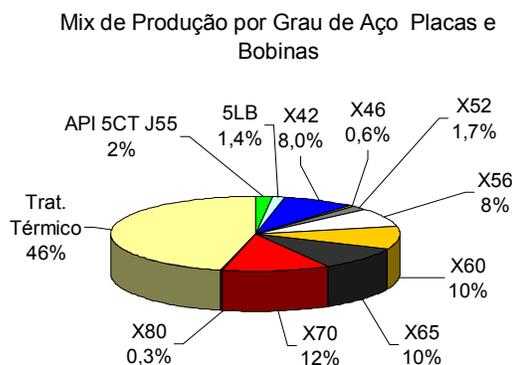


Figura 9 – Graus de Aços para Tubos Fornecidos pela CST- Arcelor Brasil

### 5.1 Definição do Projeto de Qualidade

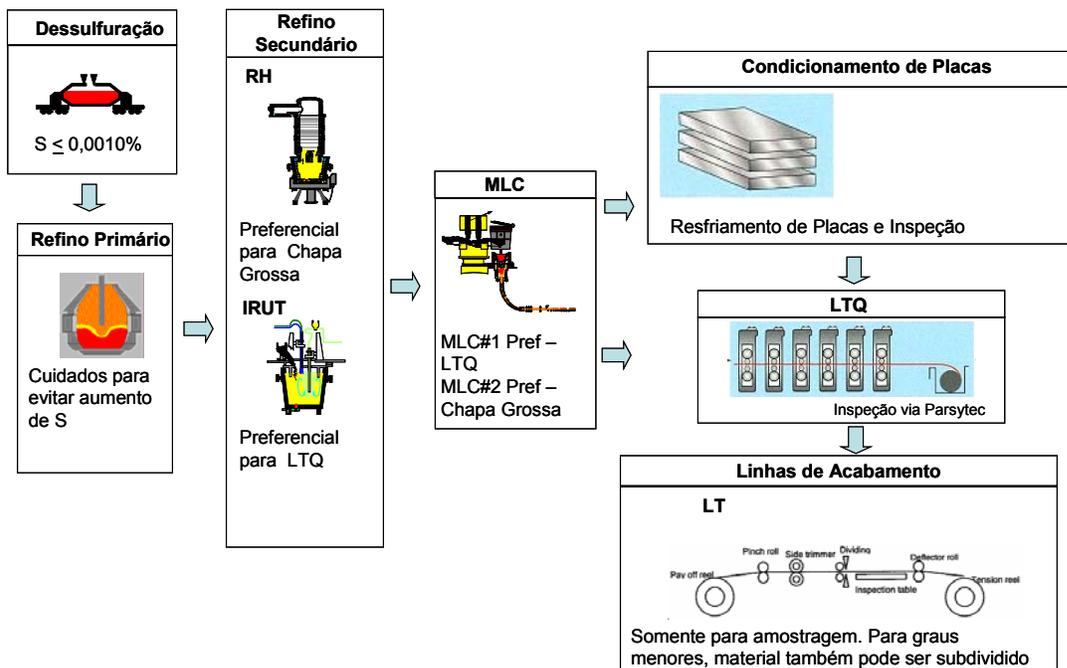
Em função dos requisitos de soldabilidade, tenacidade e elevada resistência mecânica, a CST- Arcelor Brasil tem utilizado aços de alta resistência e baixa liga para tubos para *line pipe* e aços médio carbono com possibilidade de adição de elementos de liga para aplicação em *casing* e *tubing*. De uma forma geral, para este último, o projeto de qualidade é definido pelo cliente (requisito de tratamento térmico). O projeto de qualidade típico utilizado para *line pipe* segue abaixo:

**Tabela 1.** Composição química típica do Aço API por grau na CST Arcelor Brasil

Grau	Composição Química			Espessura
	C	Mn	Ti+Nb+V	BQ
B	<0,20	<1,25	-	4,5 a 12,8
X42	<0,20	<1,25	-	4,5 a 12,5
X46	<0,20	<1,25	-	5,5 a 12,0
X56	<0,12	<1,25	<0,05	9,5 a 12,5
X60	<0,12	<1,60	0,12	14,0 a 15,0
X65	<0,12	<1,60	0,12	6,0 a 17,5
X70	<0,12	<1,60	0,12	9,3 a 13

## 5.2 Rota de Produção

A rota de produção usualmente utilizada pela CST Arcelor Brasil está descrita na Figura 10, sendo importante citar a utilização do Parsytec (sistema de inspeção de superfície da BQ durante o processo de laminação) como ferramenta de julgamento das bobinas, tendo em vista que estas não podem ser processadas nas linhas de acabamento.



**Figura 10** – Rota de Produção de Aços para Tubos na CST- Arcelor Brasil

## 6 RESULTADOS OBTIDOS

Para avaliação dos resultados obtidos, foram realizados ensaios de tração em amostras provenientes de tubos e ensaios de charpy V- notch em amostras de bobinas. Todas as amostras são referentes ao sentido transversal de laminação e os ensaios foram realizados conforme definido pela norma API<sup>[4]</sup>.

## 6.1 Ensaio de Tração – Amostra do Tubo

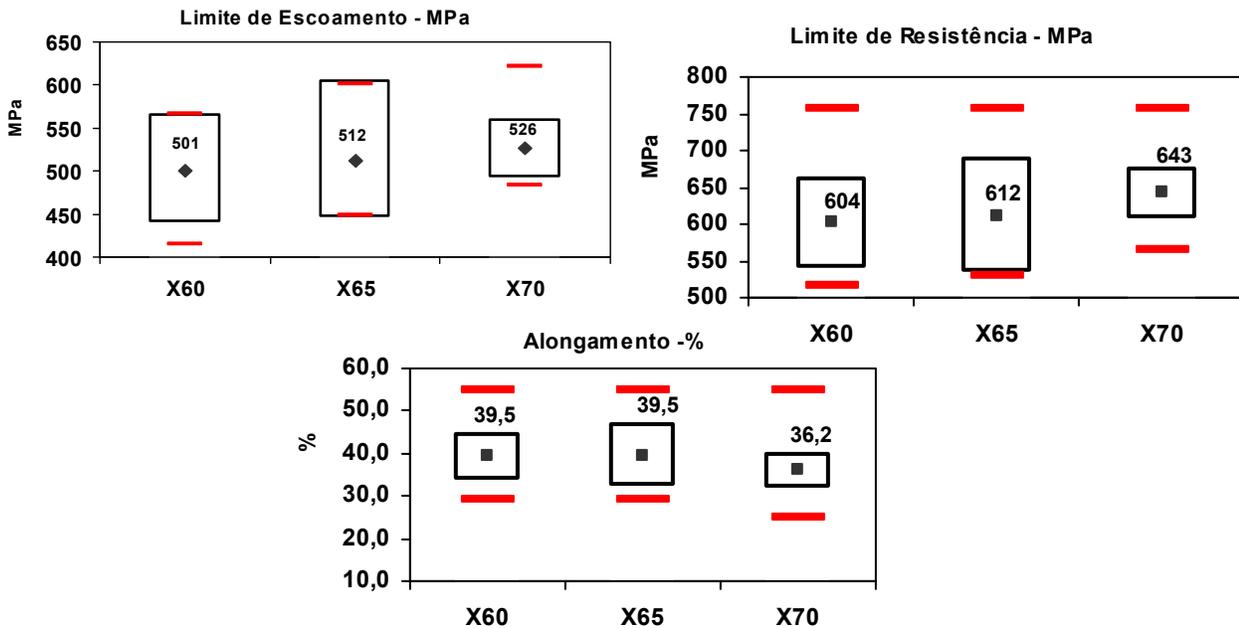


Figura 11 – Resultados de Ensaio de Tração nos graus X60, X65 e X70.

## 6.2 Análise de Tenacidade - Ensaio de Charpy - Amostra da bobina

Os ensaios de Charpy foram realizados em amostras de bobinas, na direção longitudinal ao de laminação e às temperaturas de  $-20^{\circ}\text{C}$  para X70 e  $0^{\circ}\text{C}$  para X60 e X65. Este ensaio pode ser considerado como uma forma indireta de medir a limpeza do material, tendo em vista que ocorrências de inclusões no aço afetam de forma significativa os resultados deste ensaio.

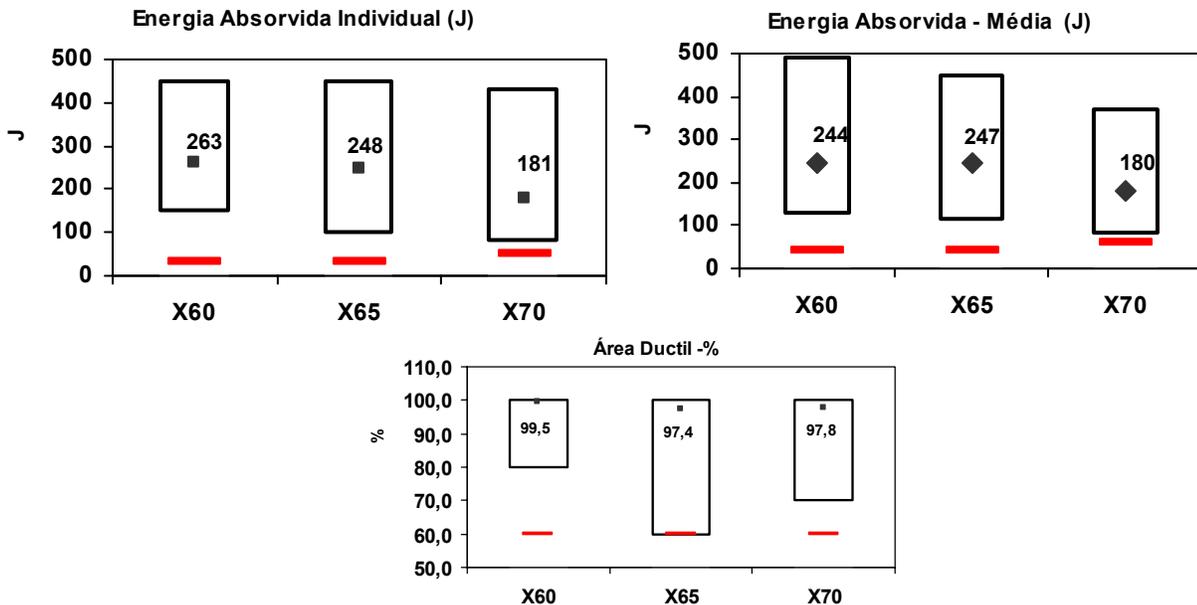


Figura 12 – Resultados de Ensaio Charpy nos graus X60, X65 e X70

## 7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO

- Aços para tubos para gasodutos/oleodutos e produção/exploração de petróleo têm merecido posição de destaque na CST Arcelor Brasil, sendo responsável por aproximadamente 9% do mix de produção;
- A tendência de solicitação de aços API com graus mais elevados tem sido confirmada pela CST - Arcelor Brasil;
- A utilização de sistema de inspeção de superfície de BQ “on line” tem contribuído na identificação de defeitos em bobinas, podendo ser considerado como um diferencial competitivo da CST - Arcelor Brasil;
- Os resultados de análise de tenacidade indicam, de forma indireta, que a CST Arcelor Brasil tem adotado práticas de produção de aços com elevada limpidez;
- A CST - Arcelor Brasil desenvolveu, em período relativamente curto de tempo (4 anos), todos os graus de aços solicitados pelo mercado de bobinas a quente, tanto para o mercado nacional como para o de exportação;
- Próximos desenvolvimentos:
  - API 5L X-65 PSL2 – Espessura = 17,48 mm (Mercado Exportação)
  - API 5CT L80/N80/ P110 - Aços Médio Carbono com Boro
  - API 5L X-70 PSL2 – Espessuras > 13,00 mm
  - API 5L X-80 PSL2

## REFERÊNCIAS

- 1 American Petroleum Institute: Specification for Line Pipe;
- 2 Gasodutos na América do Norte. Disponível em <http://www.capp.ca>;
- 3 Plano Estratégico da Petrobrás. Disponível em <http://www.petrobras.com.br>;
- 4 Plano de Investimento da OPEP. Disponível em <http://www.opec.org>;
- 5 Lourenço, Nicélio José: Estudo da Deformação de um Aço Microligado ao Vanádio na Região de Transição de Fase. 2001, 131 páginas. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, 2001;
- 6 Lagneborg, Rune; Siwecki, Tadeusz; Zajac, Stanislaw; Hutchinson, Bevis: The role of Vanadium in Microalloyed Steels, The Scandanavian Journal of Metallurgy – Outubro de 1999. Disponível em: [www.stratcor.com](http://www.stratcor.com);
- 7 Zheng, Yang-Zeng; DeArdo, A. J.; Fix, Robert M; Fitzsimons, Guillermo: Achieving Grain Refinement through Recrystallization Controlled Rolling and Controlled Cooling in V-Ti-N Microalloyed Steel. HSLA Steel Technology & Applications. Phyladelphia, Pennsylvania: ASM, 1983. Pág. 85 a 94;
- 8 Siwecki, Tadeusz; Sandberg, Alf; Roberts, William: Processing Characteristics and Properties of Ti-V-N Steels. HSLA Steel Technology & Applications. Phyladelphia, Pennsylvania: ASM, 1983. Pág. 619 a 634;
- 9 Hulka, K: Characteristic Feature of Titanium, Vanadium and Niobium as Microalloy Additions to Steel, <http://www.cbmm.com.br>;
- 10 Deardo, Anthony J.: Fundamental Metallurgy of Niobium in Steel, University of Pittsburgh, Pennsylvania, EUA;
- 11 Patel, Jitendra; Klinkenberg, Christian; Hulka, Klaus: Hot Rolled Hsla Strip Steels for Automotive and Construction Applications, Düsseldorf, Germany;

- 12 Graf, Michael, Schroder, Jens, Schwinn, Volker; Hulka, Klaus: Production of Large Diameter Pipes Grade X70 with High Toughness Using Acicular Ferrite Microstructures <http://www.cbmm.com.br>;
- 13 Meyer, Lutz: History of Niobium as Microalloying Element, Voerde, Germany, 2001;
- 14 Roberts, Willian; Sandberg, Alf; Siwecki, Tadeusz; Welefors, Tommy: Prediction of Microstructure Development during Recrystallization Hot Rolling of Ti-V Steel, Stockholm, Sweden.