

DESENVOLVIMENTO DE AÇO COM ESPESSURA > 12,5MM PARA TUBOS (NORMA API) NA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

Ricardo Porto²

Marden Valente de Souza³

Paulo de Tarso³

Renato Diniz Carvalho⁴

Roberto de Oliveira Costa⁵

Vitor Leonardo Ferreira Areas⁵

Leonardo B. Godefroid⁶

Resumo

Aços para tubos para 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 ArcelorMittal Tubarão vem desenvolvendo e atendendo às demandas de mercado no fornecimento de bobinas laminadas a quente que vem apresentando participação crescente no mix de produção da empresa, chegando a 9% do volume de material laminado a quente.

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

DEVELOPMENT OF API STEEL GRADES AT ARCELOR MITTAL TUBARÃO

Abstract

The production of API steel grades for 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, ArcelorMittal Tubarão 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 2007, around 9% of the hot strip mill production.

Key words: Steel grades for tubing; Pipes; Pipelines

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Engenheiro Metalurgista, Especialista de Desenvolvimento de Produto da ArcelorMittal Tubarão;

³ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Especialista de Desenvolvimento de Produto da ArcelorMittal Tubarão;

⁴ Engenheiro Metalurgista, Especialista da Assistência Técnica da ArcelorMittal Tubarão;

⁵ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Especialista da Unidade Técnica da Laminação de Tiras a Quente ArcelorMittal Tubarão;

⁶ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., D.Sc., REDEMAT/UFOP

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.^[1]

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 no Brasil.



Figura 1 – Gasodutos no Brasil^[2]

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 m³/dia para 77,6 milhões de m³/dia até 2010 ^[2].

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.

2 DESENVOLVIMENTO DE AÇOS PARA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

Os requisitos de aplicação (propriedades mecânicas, tenacidade, soldabilidade, etc) do material associados ao entendimento teórico e ao processo de fabricação existente devem ser traduzidos na definição do projeto de qualidade a ser utilizado, conforme pode ser observado na malha de desenvolvimento de produtos. ^[3]

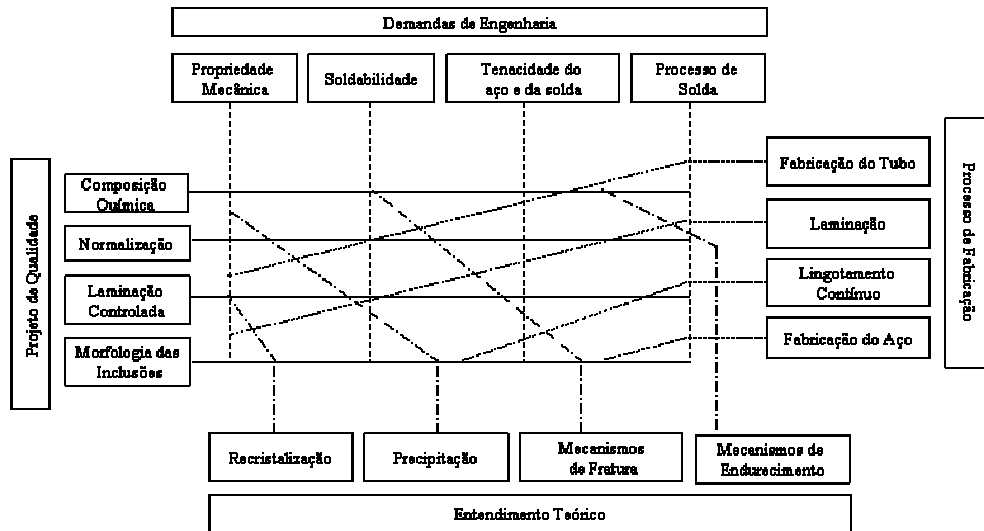


Figura 2 – Malha de Desenvolvimento de Produtos [3]

As propriedades mecânicas do material são associadas à microestrutura obtida no aço que, por sua vez foi obtida com a utilização do conhecimento teórico dos mecanismos de endurecimento, precipitação, recristalização e transformação de fase, conforme pode ser observado na Figura 3.

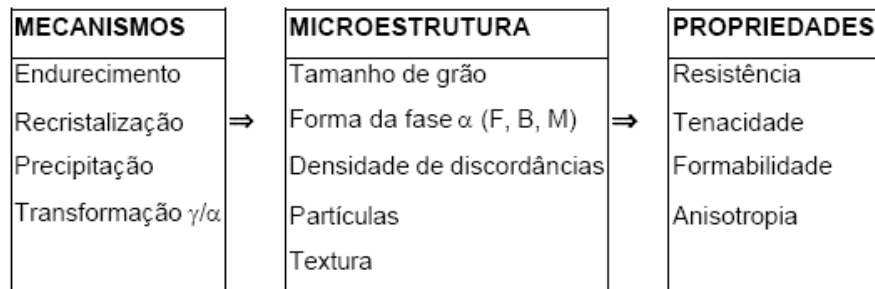


Figura 3 – Conexão entre Mecanismos, Microestruturas e Propriedades em Aços [4]

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.

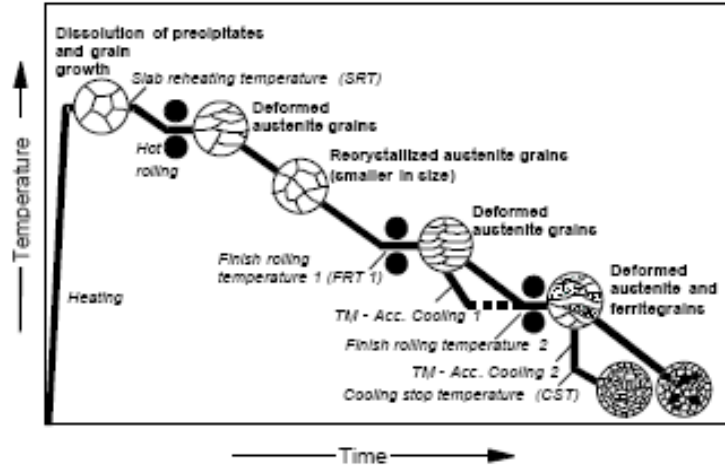


Figura 4: Ilustração Esquemática das Mudanças Microestruturais que Ocorrem Durante o Processo de Conformação a Quente do Aço^[5]

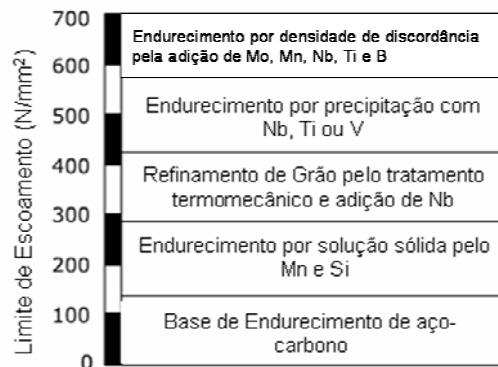


Figura 5 – Contribuição dos vários mecanismos de endurecimento no aço

Conforme se pode observar nas Figuras 4 e 5, 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 HSLA para tubos para gasodutos/ oleodutos com elevada resistência mecânica.

Os elementos microligantes usualmente utilizados são o nióbio, vanádio e titânio. O percentual destes elementos deve ser inferior a 0,15%, conforme indicado na norma API.^[1] Normalmente, os elementos de liga afetam a microestrutura através da precipitação de segunda fase. A influência dos principais elementos de liga é:

Titânio: Forma Nitreto de Titânio (TiN) a temperaturas acima da utilizada na laminação e atua como inibidor do crescimento do grão austenítico;^[6,7]

Nióbio: Forma carboneto, nitreto e carbonitreto de nióbio na faixa de temperatura de laminação e atua no controle do tamanho de grão austenítico na faixa de temperatura de recristalização, na redução da temperatura de transformação γ/α , endurecimento por precipitação no campo austenítico (induzido pela deformação) e na interface (γ / α) e no

aumento da Temperatura de Não Recristalização (T_{nr}), conforme indicado na Figura 6;^[6,7]

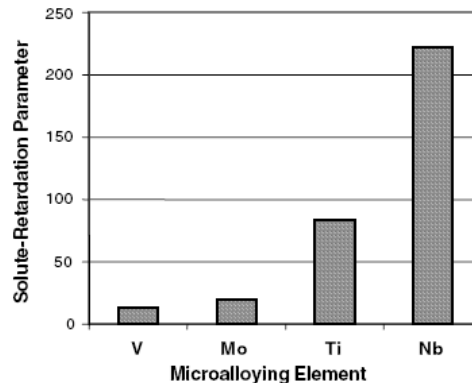


Figura 6: Influência dos Elementos de Liga na Temperatura de Não Recristalização considerando 0,01% de cada elemento ^[5]

Vanádio: Forma precipitados finos de carboneto e nitreto de vanádio V(CN) durante a transformação γ/α , atua no endurecimento por precipitação.^[6,7]

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 1.250°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.

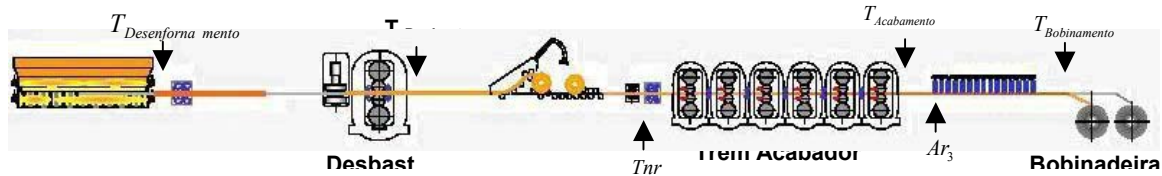


Figura 7 – Processo de Laminação a Quente

5 DESENVOLVIMENTO

A produção de aços para tubos na CST - Arcelor Mittal vem ganhando posição de destaque, sendo responsável por aproximadamente 9,0% do mix do laminador de tiras a quente em 2007 sendo aproximadamente 30% (2,6% do mix) com espessura superior a 12,5mm.

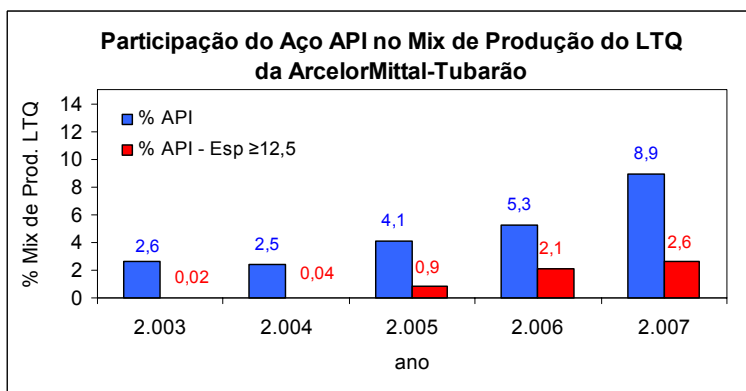


Figura 8 – Participação de Aços para Tubos no Mix de Produção do LTQ

A tendência de produção de aços com requisito de elevada propriedade mecânica e tenacidade tem-se confirmado pela ArcelorMittal Tubarão, conforme pode ser observado na Figura 9, ou seja, aços com grau X60 ou superior representa 98% do mix de produção dos aços API's com espessura superior a 12,5mm.

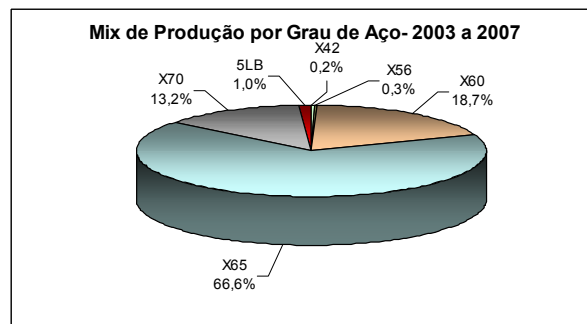


Figura 9 – Graus de Aços para Tubos com Esp \geq 12,5mm Fornecidos pela Arcelor Mittal Tubarão

Observa-se que além da tendência de elevação do grau de aço, tem sido solicitado à ArcelorMittal Tubarão, desenvolvimento de material laminado a quente com espessuras e larguras mais elevadas, conforme indicado no gráfico da Figura 10.

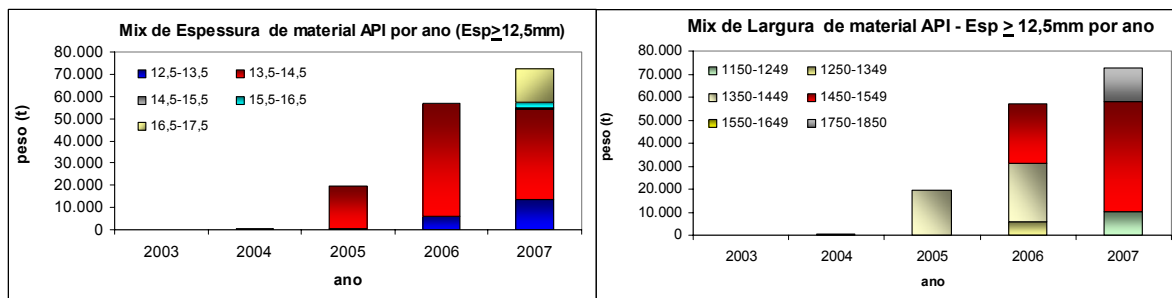


Figura 10 – Dimensão de bobinas laminadas à quente para aços API produzidas na ArcelorMittal Tubarão

5.1 Definição do Projeto de Qualidade

Em função dos requisitos de soldabilidade, tenacidade e elevada resistência mecânica, a ArcelorMittal Tubarão tem utilizado aços de alta resistência e baixa liga para os graus mais elevados.

Tabela 1. Composição Química utilizada pela ArcelorMittal Tubarão

Grau	Composição Química		
	C	Mn	Ti+Nb+V
B	<0,20	<1,25	-
X42	<0,20	<1,25	-
X46	<0,20	<1,25	-
X56	<0,12	<1,25	<0,05
X60	<0,12	<1,70	0,12
X65	<0,12	<1,70	0,15
X70	<0,12	<1,70	0,15

5.2 Práticas de Laminação a Quente para Material API

No processo de laminação de tiras a quente, é objetivada a realização da prática de processamento termo-mecânico controlado, ou seja realizar laminação de desbaste acima da temperatura de não recristalização (T_{nr}) e no trem acabador, abaixo da T_{nr} . A temperatura de final de laminação deve ser acima da temperatura Ar_3 (transformação de fase γ/α).

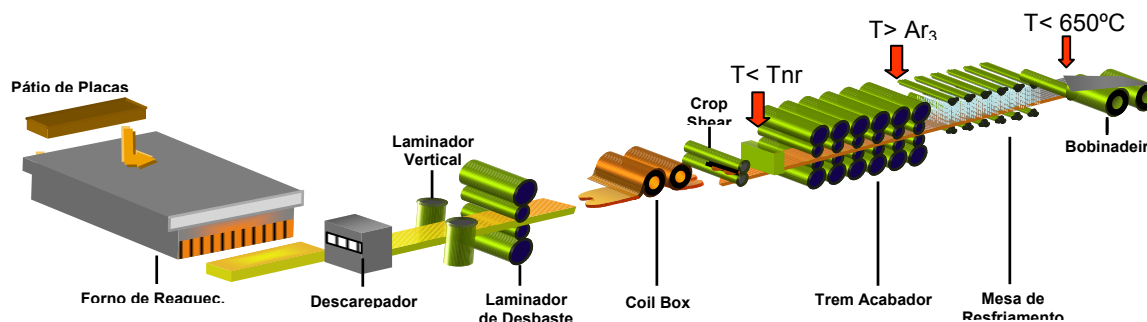


Figura 11 – Desenho esquemático do processo de laminação de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão

5.2 Processo de Inspeção Superficial da Bobina

Em função da elevada propriedade mecânica do material API, as bobinas produzidas para esta aplicação não podem ser processadas nas linhas de acabamento. Para realizar inspeção de superfície destas bobinas, a ArcelorMittal Tubarão instalou no laminador de tiras a quente, sistema *on line* de detecção e classificação de defeitos superficiais em 100% da tira e em ambas as faces. Este equipamento está localizado na saída do trem acabador para monitoramento da face superior e na entrada da bobinadeira para a face inferior da tira.

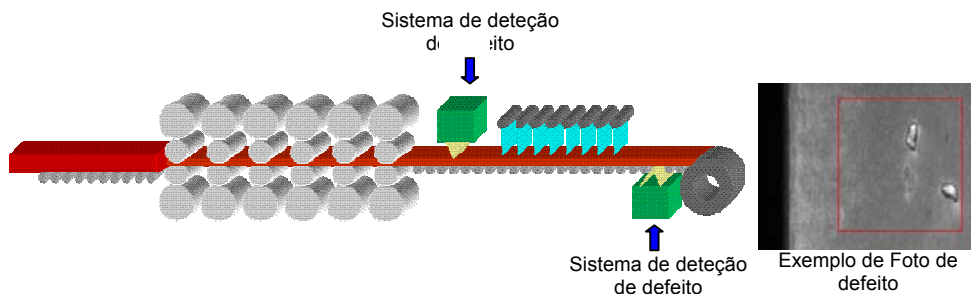


Figura 12 – Desenho esquemático da localização do sistema *on line* de inspeção da superfície da tira no laminador de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão

Além do sistema de inspeção superficial, a ArcelorMittal Tubarão conta com sistema de Julgamento *on line* para os parâmetros de processo, como espessura, largura, temperaturas, dentre outros. A Figura 13 mostra um exemplo das informações disponibilizadas pelo sistema.

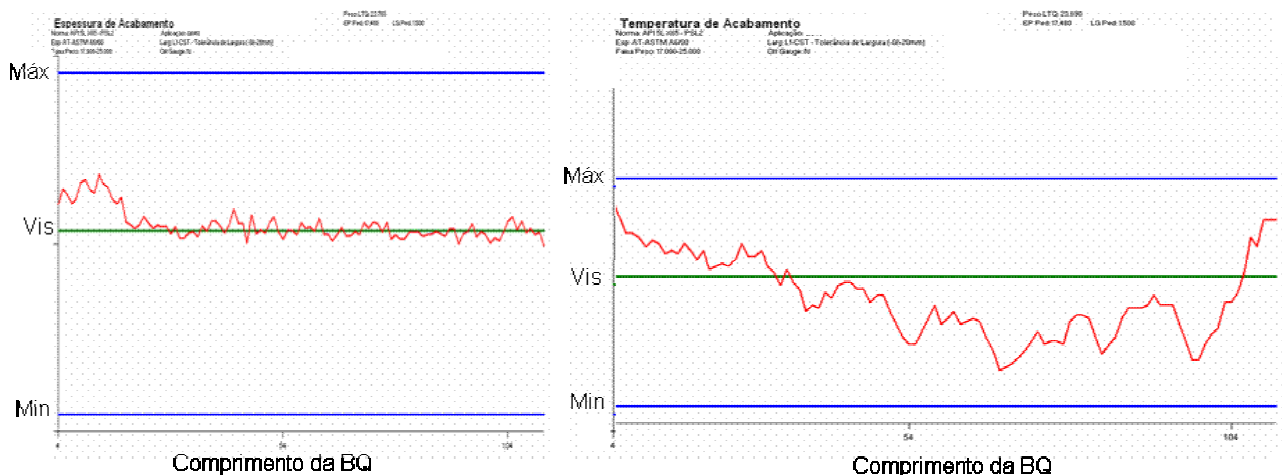


Figura 13 – Exemplo das Informações disponibilizadas pelo sistema de Julgamento “*on line*” de bobinas na ArcelorMittal Tubarão

6 RESULTADOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

Para avaliação dos resultados obtidos, foram realizados ensaios de tração e 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.^[4]

6.1 Ensaio de Tração

Em função de perdas de propriedades no tubo por efeito Bauschinger, principalmente o limite de escoamento em material com microestrutura ferrita-perlita, para a bobina é especificado valor mínimo superior ao indicado pela norma API. Este valor é acordado entre fabricante da bobina e do tubo.

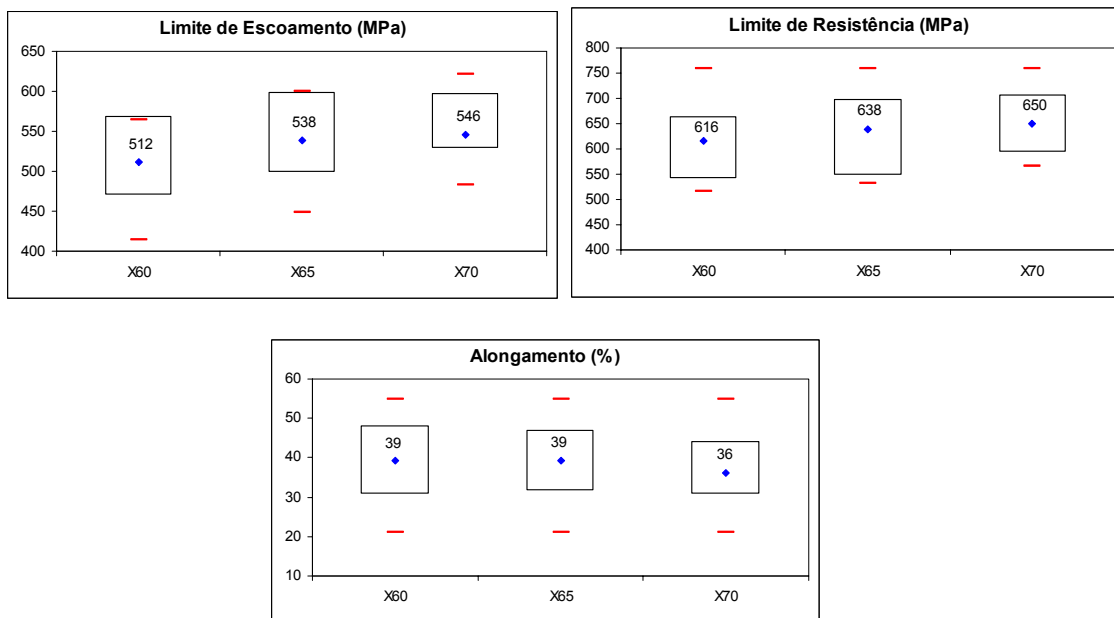


Figura 14. Resultados obtidos no ensaio de tração dos graus X60, X65 e X70

6.2 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°C para X70 e 0°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.

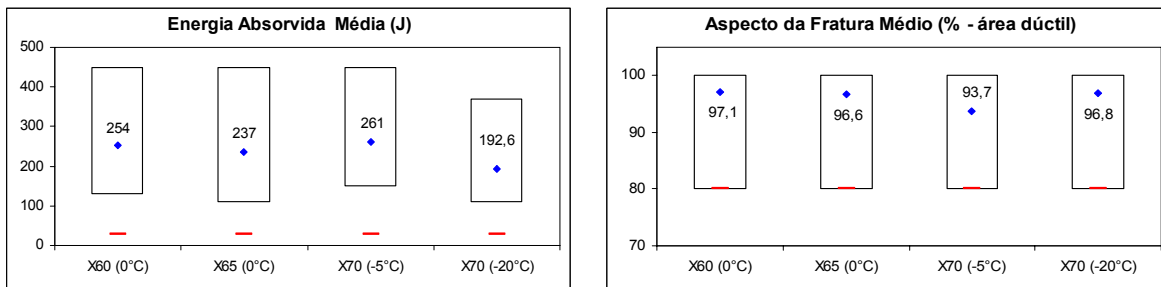


Figura 15. Resultados médios obtidos no ensaio de charpy

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO

- A tendência indicada pelo mercado de solicitação de aços API com graus mais elevados tem sido confirmada pela ArcelorMittal Tubarão;
- Aços para tubos para gasodutos de petróleo têm merecido posição de destaque na ArcelorMittal Tubarão, sendo responsável por aproximadamente 9% do mix de produção do LTQ, sendo 30% deste percentual, com espessura acima de 12,5mm;
- Além da elevação do grau do aço, observa-se também tendência de aumento da espessura e largura da bobina solicitada pelo cliente, resultando no aumento da criticidade de produção destes materiais;
- 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 Mittal;
- Os resultados de análise de tenacidade indicam, de forma indireta, que a CST Arcelor Mittal tem adotado práticas de produção de aços com elevada limpeza;
- Próximos desenvolvimentos:
 - API 5L X-65 PSL2 – Espessura = 17,48 x 1800 mm
 - API 5L X-70 PSL2 – Espessuras > 13,00 mm
 - API 5L X-80 PSL2

REFERÊNCIAS

- 1 American Petroleum Institute: Specification for Line Pipe
- 2 Plano Estratégico da Petrobrás. Disponível em <http://www.petrobras.com.br>;
- 3 Sage, A.M.: Physical metallurgy of high-strength low-alloy line-pipe and pipe-fitting steels. The Metals Society – vol.10, Jun/83
- 4 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.
- 5 Hillenbrand, Hans Georg; Graf, Michael; Kalwa Christoph: Development and production of high strength pipeline steels, 2001. Disponível em www.europipe.de
- 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;
- 7 Gray, J. Malcolm: A Guide for Understanding and Specifying Chemical Composition of High Strength Linepipe Steels. July, 2007.