

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS GROSSAS PARA TUBOS API X70 DE ELEVADA TENACIDADE NA USIMINAS-CUBATÃO¹

Daniel Bojkian Matsubara²
Alcides Ferreira de Aguiar Júnior³

Resumo

Em março de 2010 a Usiminas foi consultada para fornecer chapas grossas para fabricação de tubos API X70 para um gasoduto localizado no Peru. Este projeto consistia em 90.000 toneladas de produto chapas grossas com elevados requisitos de qualidade, principalmente no que se refere à tenacidade. Para a Usiminas atender ao pedido, era necessária a participação da planta de Cubatão, que não havia desenvolvido um aço com as características de tenacidade e espessuras exigidas pelo projeto em questão. Desta forma, este projeto representava um grande desafio e a oportunidade da planta de Cubatão evoluir na produção de aços para tubos API. Assim, foi elaborada uma especificação inédita para a planta de Cubatão e foi produzido um lote experimental. Foram ajustados os parâmetros de aciaria, de laminação e avaliados os resultados de propriedades mecânicas (tração, charpy, dureza, DWTT, etc.) em chapa. O início da produção dos tubos ocorreu com material fornecido pela planta de Cubatão, que serviu como teste para avaliar o desempenho do projeto das chapas com a especificação nova.

Palavras-chave: Tenacidade; X70; Chapa grossa; Gasoduto.

DEVELOPMENT OF PLATES FOR API X70 LINEPIPES WITH HIGH TOUGHNESS IN USIMINAS-CUBATÃO

Abstract

In March 2010 Usiminas was consulted to supply plates for fabrication of API X70 pipes for a gas pipeline in located in Peru. This project consists in 90.000 tons of steel plates with high quality requirements, especially toughness. In order to Usiminas attend this request it was necessary the participation of Cubatão plant, which had not yet develop steel plates with the thicknesses and toughness characteristics demanded for this project. So this project represented a great challenge and an opportunity to evolve in the production of steels for API gas pipelines. A new specification for Cubatão plant was elaborated and an experimental lot was produced. The steel making and rolling parameters were adjusted and the mechanical properties (tension, charpy, hardness, DWTT, etc.) were evaluated in plates. The pipe production startup occurred using material supplied by Cubatão plant, serving as a test to evaluate the performance of the plate project with the new specification.

Key-words: Toughness; X70; Steel plates; Pipeline.

¹ *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Engenheiro de Produto Pleno, Superintendência de Garantia da Qualidade.Cubatão,SP. E-mail: daniel.matsubara@usiminas.com*

³ *Assistente Técnico Industrial, Superintendência de Garantia da Qualidade.Cubatão,SP. E-mail: alcides.aguiar@usiminas.com*

1 INTRODUÇÃO

O projeto para o qual a Usiminas forneceu chapas de aço API X-70, representa uma etapa de gasodutos que transportarão gás natural (GN) e gás natural liquefeito (GNL) da região de Cusco até a costa do Peru, conforme mostrado na Figura 1. Esta etapa é constituída de 2 tubulações paralelas de 143 Km de tubos de grande diâmetro X-70.



Figura 1: Localização do gasoduto completo e destacado em vermelho a região deste fornecimento.

O gasoduto completo terá um total de 834 km de GN e 557 km de GNL. A Figura 2 ilustra detalhes do percurso das tubulações.

Era fundamental que todos os parâmetros estabelecidos fossem rigorosamente cumpridos, uma vez que a geografia local torna bastante difícil o acesso à tubulação para efetuar eventuais reparos. Na Figura 3 é possível visualizar exemplos desta geografia.

Além de todo o rigor técnico e logístico há também o fato deste projeto representar um importante passo para suprir a crescente demanda por gás natural do Peru.

Trecho
avaliado no
trabalho

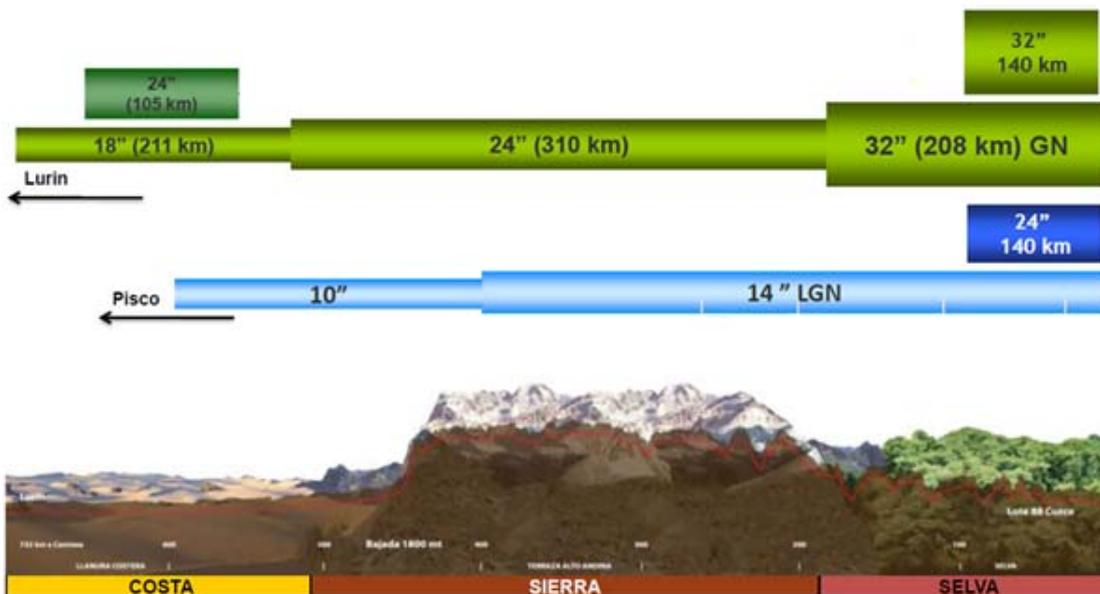


Figura 2: Perfil da tubulação de GN e GNL.



Figuras 3: Exemplos dos desafios geográficos e logísticos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento foi feito a partir de pedidos de API X-70 PSL2 em 4 corridas nas dimensões e quantidades mostradas na Tabela 1. Utilizou-se o processo laminação controlada sem o recurso de resfriamento acelerado.

Tabela 1 – Dimensões e quantidades

DIMENSÕES DO PRODUTO (mm)	QUALIDADE	Peso (ton)
11,10 x 1870 x 12400	API X70 PSL2	600
19,20 x 1844 x 12400	API X70 PSL2	600

Estes materiais foram produzidos atendendo a requisitos químicos mais restritos que a norma API 5L.⁽¹⁾

As propriedades mecânicas exigidas (tração, charpy, DWTT,⁽²⁾ tamanho de grão, dureza) também tiveram limites acima do exigido na especificação de tubo, sendo que a principal exigência foi de impacto a -45°C e DWTT a -40°C para espessuras de 11,10 mm e -35°C para espessuras de 19,20 mm.

Tradicionalmente não se utilizava na usina de Cubatão projetos de liga similares aos desta especificação, devido ao histórico da geração de uma carepa aderente à superfície das chapas. Este fato tornava-se mais intenso no caso da utilização de laminação controlada, uma vez que a temperatura de acabamento é mais baixa e se evita utilização da descamação no segundo estágio da laminação.⁽³⁾

As chapas de 11,10 mm foram utilizadas como *try-out* na produção dos tubos deste gasoduto e serviram como referência para avaliação do sucesso do projeto das chapas.

O material de 19,20 mm foi também submetido a ensaios de homologação no cliente, uma vez que a usina de Cubatão nunca fornecera esta espessura. Para isso, além dos ensaios normais já requisitados, foram solicitados ensaios especiais para avaliação mais minuciosa da tenacidade (curvas de transição dúctil-frágil para charpy e DWTT).

A composição química visava atender aos requisitos mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos químicos

ELEMENTO	PANELA (%)	PRODUTO (%)
C	≤ 0.12	≤ 0.12
Mn	≤ 1.70	≤ 1.70
P	≤ 0.025	≤ 0.025
S	≤ 0.006	≤ 0.008
Nb	≤ 0.070	≤ 0.070
V	≤ 0.070	≤ 0.070
Ti	≤ 0.025	≤ 0.025
N	≤ 0.0090	≤ 0.0090
CE	≤ 0.43	≤ 0.43

Os resultados químicos e mecânicos em chapa foram obtidos nos laboratórios da usina de Cubatão e de Ipatinga.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para este projeto o principal desafio foi conseguir obter elevados valores de tenacidade em baixas temperaturas sem a utilização de resfriamento acelerado para contribuir com refino de grão.

O primeiro passo foi utilizar um projeto de liga especial para baixar a temperatura de transformação da austenita em ferrita, complementando o refino de grão e assim elevar a tenacidade.⁽⁴⁾ Ainda contribuindo para a tenacidade, procurou-se trabalhar

com os mínimos teores possíveis de enxofre, fósforo e carbono (abaixo do exigido pelo cliente) compensando a ausência destes elementos com adições de Nb, V e Ti. Para evitar a formação de carepa aderente à superfície das chapas, a atmosfera do forno de reaquecimento de placas foi controlada e procurou-se trabalhar com a menor variação de poder calorífico inferior (PCI) possível, de maneira a formar uma camada de óxido fina, quebradiça e de fácil remoção. Este controle foi importante porque a remoção da carepa durante a laminação era limitada.

Na laminação controlada, o primeiro estágio foi realizado com passes pesados para quebra da estrutura bruta de fusão e foi calculada uma espessura de patamar que permitisse a máxima redução possível no segundo estágio (abaixo da temperatura de não recristalização) para potencializar o refino de grão ferrítico. O uso de descamação e resfriamento foi limitado durante o segundo estágio da laminação controlada para que não houvesse formação de estruturas aciculares e para não “mascarar” a temperatura final de acabamento.

Vale ressaltar que para garantir o desempenho do material mais espesso nos ensaios de DWTT, foi feito um tratamento diferenciado na etapa de refino secundário. A operacionalização deste procedimento representou um grande avanço na usina de Cubatão.

Seguindo as práticas mencionadas, foi possível aliar os requisitos exigidos de limite de escoamento, limite de resistência e tenacidade.

Nas Figuras 4 e 5 são comparados os resultados de propriedades mecânicas e de tenacidade entre as 4 primeiras corridas do aço API X-70 produzido para o projeto novo com 11,10 mm e aço API X-70 convencional de 11,90 mm de espessura.

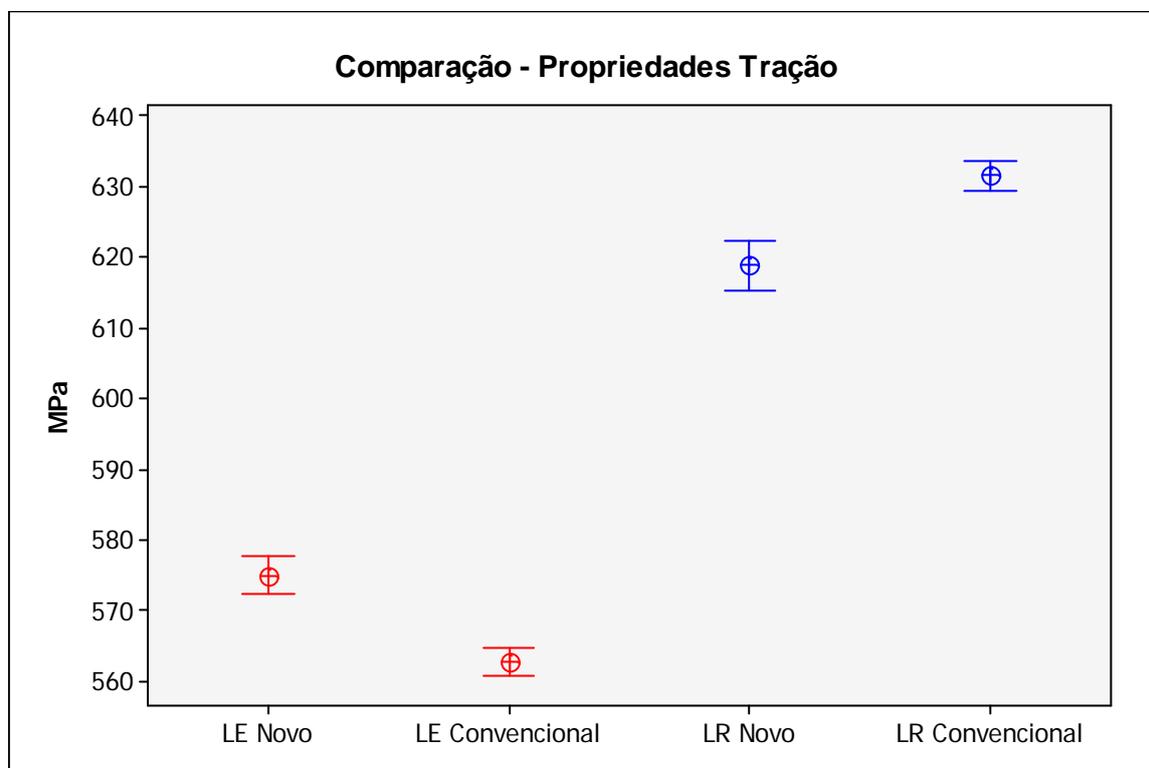


Figura 4: Comparação das propriedades de tração entre materiais de 11 mm.

Na Figura 4 são comparados os dados de limite de escoamento e limite de resistência do material novo de 11,10 mm e um API X-70 convencional de 11,90 mm. Percebe-se que o limite de escoamento do novo foi maior que o material

convencional. Isto se deve ao processo de laminação ser conduzido em temperaturas mais baixas. Em contrapartida o limite de resistência do novo foi menor que o convencional, ocasionado pela redução no teor de carbono. A média encontrada de limite de escoamento e limite de resistência para o novo foi de 575 MPa e 619 MPa, respectivamente.

A Figura 5 mostra o desempenho de tenacidade do novo em comparação ao API X-70 convencional. Nesta figura fica evidenciado que os resultados de impacto foram bastante satisfatórios em temperaturas baixas (-45°C), na média superando o X-70 convencional, que foi ensaiado em temperatura superior (-15°C). A maior dispersão encontrada no material novo deve-se à fase de ajustes nos parâmetros de laminação das quatro primeiras corridas.

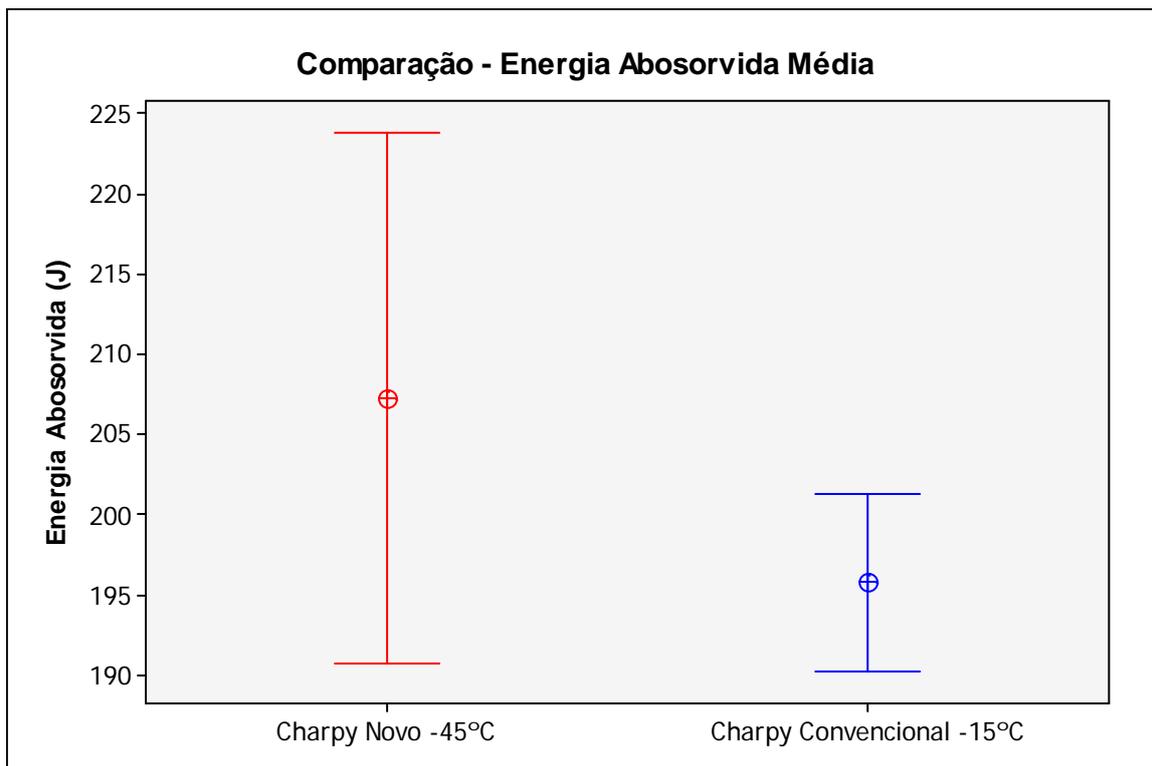


Figura 5: Comparação de charpy entre materiais de 11 mm.

Os resultados das quatro primeiras corridas do material de 19,20 mm estão nas Figuras 6 e 7. Estes valores não foram comparados com outros materiais API X-70 por não haver produção de espessuras similares.

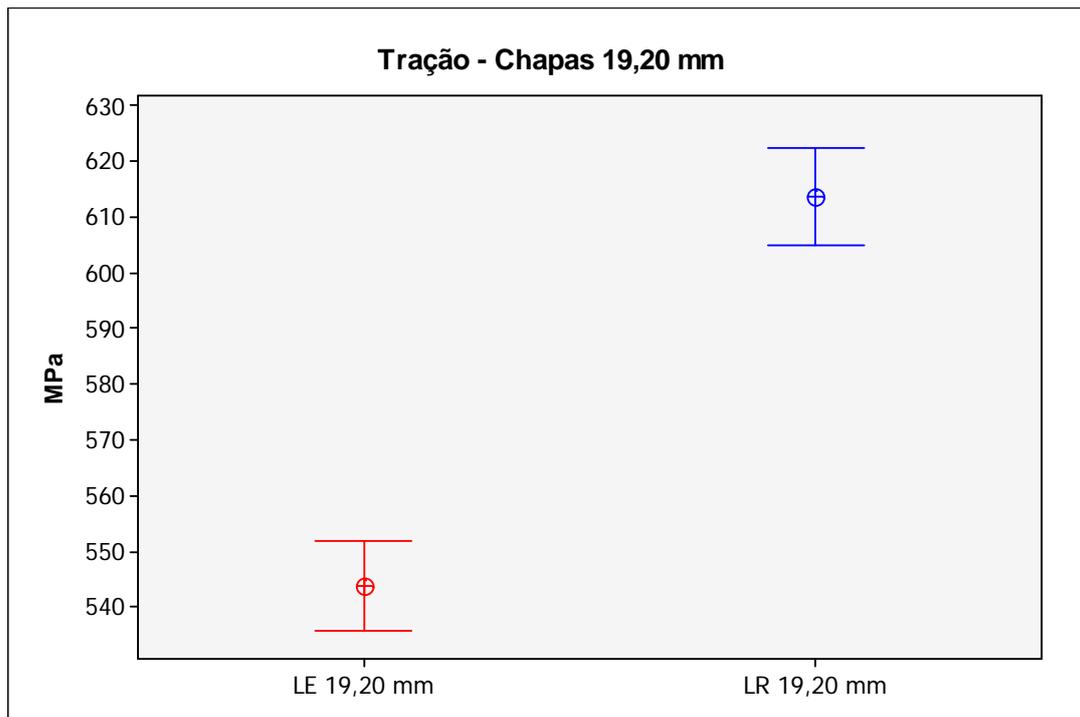


Figura 6: Resultados de limite de escoamento e resistência do material de 19,20 mm.

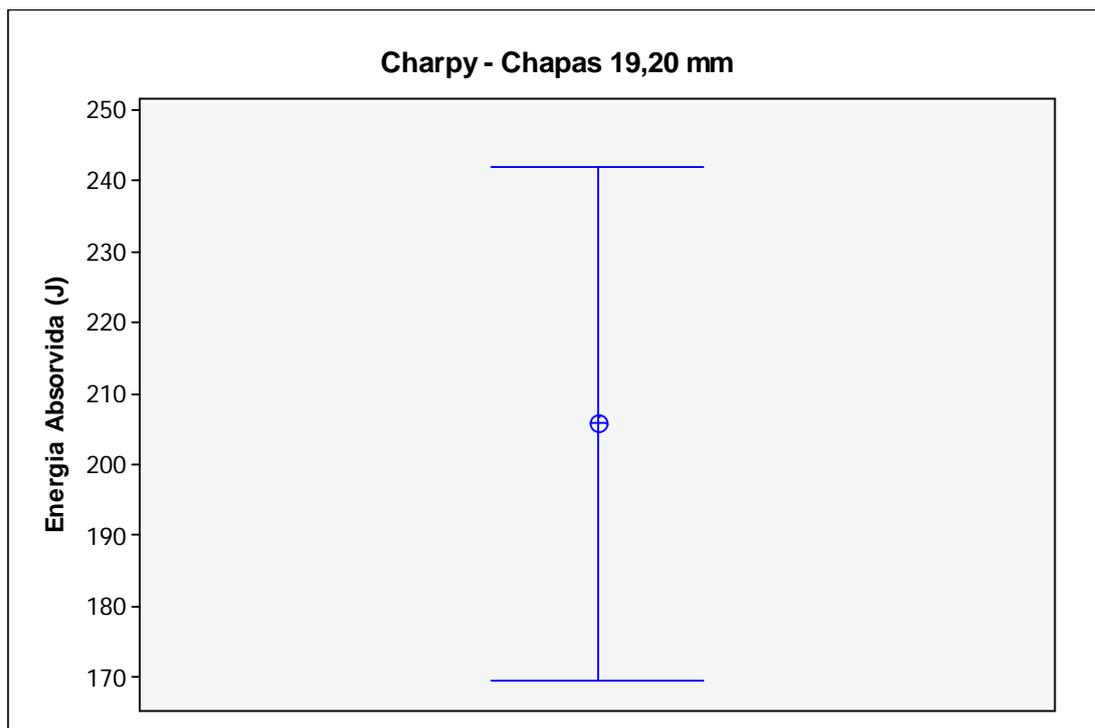


Figura 7: Resultados de impacto do material de 19,20 mm.

Para o ensaio de DWTT foi obtido 100% de área dúctil para o material de 11,10 mm e média de 96% para o de 19,20 mm. Este último foi considerado o principal desafio do projeto novo, pois aliava baixas temperaturas (-35°C) e elevada espessura. Para a homologação das chapas de 19,20 mm foram levantadas as curvas de transição charpy e DWTT, em corpos de prova retirados da extremidade e do centro do esboço laminado, conforme Figura 8.



Figura 8: Representação esquemática mostrando a posição das amostras no esboço laminado.

Nas Figuras 9 e 10 estão representadas as curvas de transição charpy para o centro e extremidade do esboço, respectivamente.

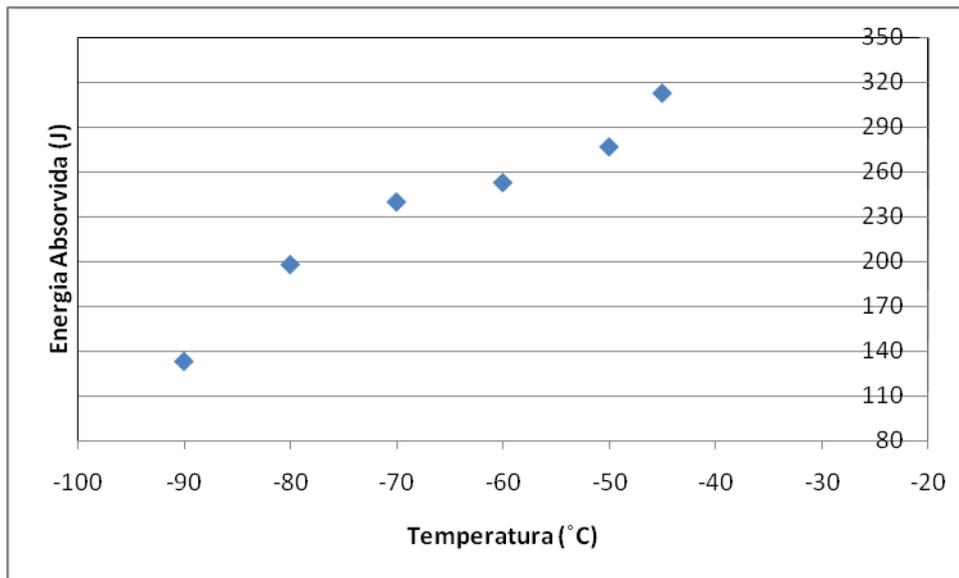


Figura 9: Curva de transição charpy realizado no centro do esboço laminado.

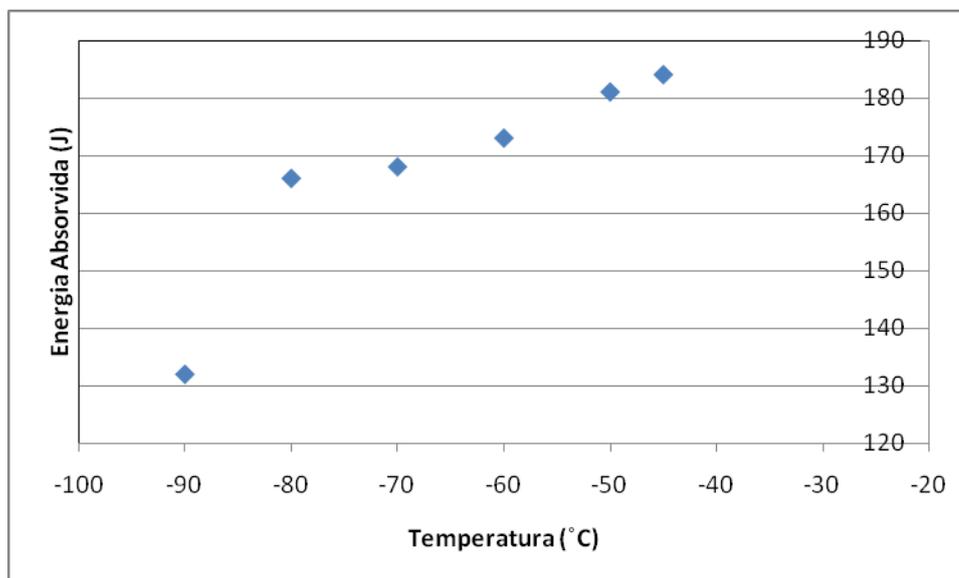


Figura 10: Curva de transição charpy realizado na extremidade do esboço laminado.

A temperatura de transição levantada ficou em torno de -65°C .

Nas Figuras 11 e 12 estão representadas as curvas de transição DWTT para o centro e extremidade do esboço, respectivamente.

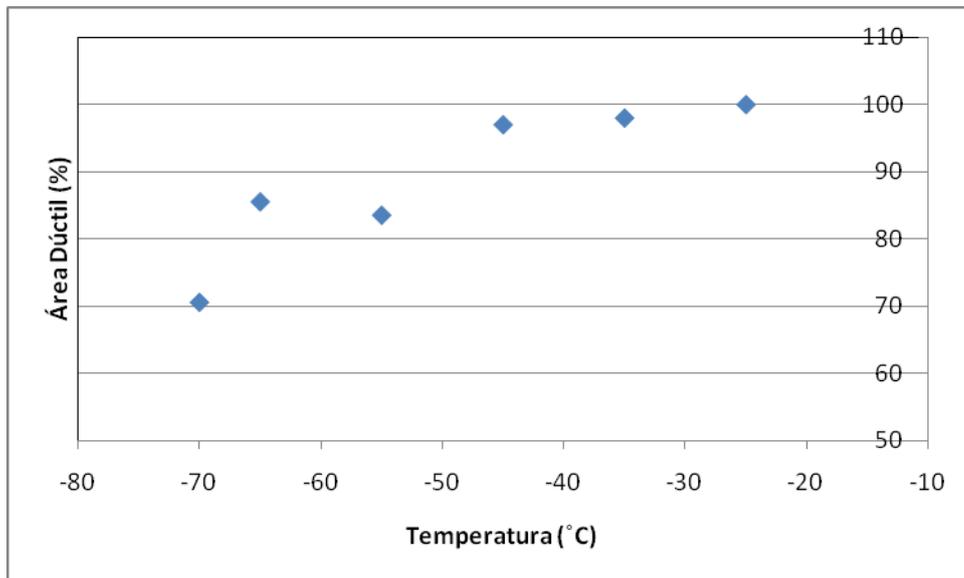


Figura 11: Curva de transição DWTT realizado no centro do esboço laminado.

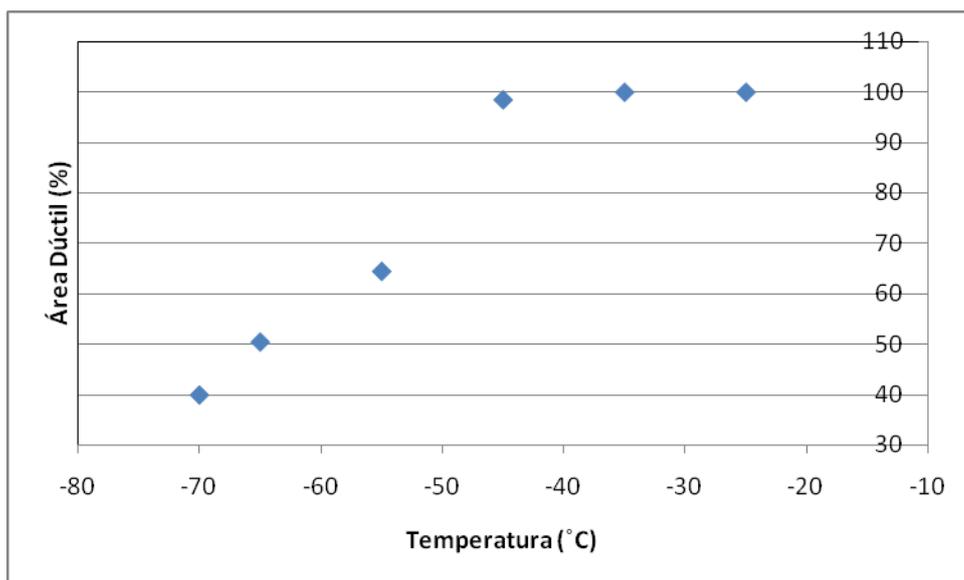


Figura 12: Curva de transição DWTT realizado na extremidade do esboço laminado.

Para o ensaio de DWTT a temperatura de transição dúctil-frágil foi de -70°C para o centro e -65°C para a extremidade do esboço.

Nas curvas de transição nota-se que as amostras retiradas do centro do esboço tiveram um resultado melhor. Isto se deve à menor taxa de resfriamento nesta região do esboço. Para evitar grandes variações entre estas posições, foi feito um descarte adicional nas pontas dos esboços. Desta forma conseguiu-se manter uma homogeneidade satisfatória ao longo do esboço.

Os resultados de propriedades em tubo para limite de escoamento, limite de resistência, razão elástica e impacto foram todos bem sucedidos.

O resumo dos avanços obtidos com o projeto novo está representado na Tabela 3.


Tabela 3 – Avanços alcançados com o projeto

	Pré Projeto	Pós Projeto
Espessura	16 mm	19,20 mm
Charpy	-20°C	-45°C
DWTT	-20°C	-40°C
Teste hidrostático em tubo	95% do limite de escoamento	100% do limite de escoamento
Fósforo	Padrão para API	Decréscimo 30 ppm
Enxofre	Padrão para API	Decréscimo 30 ppm

5 CONCLUSÃO

Os resultados atenderam a todos os requisitos químicos e mecânicos exigidos pela especificação nova, possibilitando à Usiminas fornecer todo o material necessário para esta fase do projeto. A Usiminas-Cubatão foi responsável pelo fornecimento de aproximadamente 33.000 toneladas de chapas.

A participação de Cubatão foi importante não só para o atendimento do prazo do projeto como também para ratificar o sucesso do projeto metalúrgico das chapas de aço.

Além disso, este projeto inaugurou novos padrões de aços para tubos API na Usiminas-Cubatão, mostrando aptidão para fornecer chapas com elevadas exigências de propriedades mecânicas e tenacidade.

REFERÊNCIAS

- 1 Specification for Line Pipe ANSI/ API Specification 5L, Forty-Fourth Edition, October 1 2007.
- 2 Recommended Practice for Conducting Drop-Weight Tear Test on Line Pipe, API Recommended Practice 5L3, Third edition, February 1996.
- 3 Gorni, A.A., Freitas, F.V., Pereira, M.M., Góes, M.V., Laminação de chapas grossas de aço ao níquel, 63º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais ABM, Santos (SP), 28 de Julho a 1º de Agosto de 2008.
- 4 Ginzburg, V. B., Metallurgical Design of Flat Rolled Steels, Marcel Dekker, New York, 2005.