

DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS GROSSAS PARA VASOS DE PRESSÃO DE ELEVADA ESPESSURA¹

Daniel Bojikian Matsubara²
Alcides Ferreira de Aguiar Júnior³
Vasco Leopoldo Lazzari⁴

Resumo

Antes da elaboração deste trabalho, a Usiminas-Cubatão não produzia materiais para aplicação em vasos de pressão de alta resistência com espessuras acima de 80 mm e garantia de sanidade interna. Porém, com a abertura de projetos financiados pelo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), havendo grande participação da Petrobrás, vários clientes passaram a procurar estes materiais, sobretudo em espessuras de 89 mm e 100 mm. São clientes tanto do setor industrial quanto da distribuição. Devido à demanda crescente e pelo preço de venda atraente, viu-se grande potencial em se desenvolver uma metodologia para produzir estes materiais com garantia de sanidade interna e redução placa/chapa menor que 3:1. Serão mostrados neste trabalho os requisitos necessários para viabilizar a produção destes materiais, os desafios e os resultados alcançados.

Palavras-chave: Vasos de pressão; Elevada espessura.

DEVELOPMENT OF PLATES FOR PRESSURE VESSELS WITH HIGH THICKNESS

Abstract

Before the elaboration of this project, Usiminas Cubatão did not accept purchase orders to produce high resistance materials for pressure vessel applications with thicknesses above 80 mm and internal sanity guarantees. However, with the opening of new infrastructure projects financed by PAC (Growth Acceleration Program) with great participation of Petrobrás, many clients began to request these materials, especially plates with thicknesses 89 mm and 100 mm. These clients are from the industrial sector and also distribution. Given the large demand and the attractive selling price, we found great potential in developing a methodology to produce this material with internal sanity guarantees and slab/plate reduction below 3:1. The necessary requirements to enable the production of the plates and the achieved results will be shown.

Key words: Pressure vessels; High thickness.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng^o de Materiais, Eng. de Produto Pleno, Usiminas, Cubatão, Unidade de Controle Integrado do Produto, SP, Brasil; daniel.matsubara@usiminas.com.

³ Assistente Técnico Industrial, Usiminas, Cubatão, Unidade de Controle Integrado do Produto, SP, Brasil; alcides.aguiar@usiminas.com.

⁴ Eng^o Metalurgista, Eng. de Assistência Técnica Sênior, Usiminas, Cubatão, Unidade de Assistência Técnica, SP, Brasil; vasco.lazzari@usiminas.com.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a norma ASTM A20 ⁽¹⁾, todo material destinado à aplicação em caldeiras ou vasos de pressão deve atender ao requisito de redução de placa para chapa de no mínimo 3 para 1, com o objetivo de minimizar a quantidade de defeitos internos na no produto final. Com o advento do lingotamento contínuo, a maior placa disponível na Usiminas-Cubatão passou a ser 260 mm de espessura, o que impossibilitava a produção de chapas acima de 86,6 mm de espessura. Nestas condições seria viável produzir estas chapas apenas com a compra de placas de terceiros oriundas de lingotes do lingotamento convencional.

Contudo, a mesma ASTM A20 apresenta algumas condições para que se possa produzir chapas com reduções inferiores a 3 para 1. Estas condições estão descritas abaixo.

- A redução deve ser maior que 2 para 1;
- O comprador deve estar de acordo com a redução proposta;
- A espessura de chapa deve ser maior ou igual a 75 mm;
- O aço deve ser produzido com práticas de redução de hidrogênio;
- O teor de enxofre deve ser menor ou igual a 0,004%;
- Uso do recurso de *soft reduction* durante o lingotamento das placas para minimizar a intensidade da segregação central. Este efeito é atingido pela diminuição da distância dos rolos de guia no estágio final de solidificação, compensando-se a contração na solidificação final ao mesmo tempo em que se reduz a fluidez do aço parcialmente solidificado. Esta tecnologia foi proposta para reduzir o movimento de metal líquido na “zona pastosa”. Com isto é reduzido o movimento do líquido enriquecido de solutos (C, P, Mn, S, etc.) e grãos colunares/dendríticos são quebrados formando grãos celulares (menos favoráveis à segregação);
- As chapas devem ter 100% de sua superfície ultrassonada conforme norma ASTM A578⁽²⁾ com critério segundo o nível C, o qual estabelece como descontinuidade inaceitável aquela que não pode ser enquadrada dentro de um círculo com 25 mm de diâmetro;
- As chapas devem ser ensaiadas para verificação de suas propriedades de tração na direção Z. Este ensaio consiste em tracionar um corpo de prova cujo eixo longitudinal corresponde à espessura da chapa. Este ensaio tem o objetivo de avaliar a resistência do material à decoesão lamelar, que é um defeito que pode ocorrer na forma de trincas devido a solicitações na direção da espessura da chapa (em deformações de soldagem, por exemplo). Esta propriedade se torna mais crítica quanto mais espessa a chapa, quanto maior o teor de enxofre e pela presença de hidrogênio.

O mecanismo utilizado para elaboração deste aço foi de adicionar microligantes (Nb, V e Ti) que contribuíssem para o aumento de resistência mecânica através de refino de grão e precipitação, sem comprometimento da tenacidade e do carbono equivalente máximo⁽³⁾.

A Figura 1 mostra a evolução do limite de escoamento para aços C-Mn e C-Mn-Nb com o refino de grão. Pode ser observado que o nióbio contribui significativamente na obtenção desta característica microestrutural, pois pequenas quantidades deste elemento em solução sólida promovem o atraso da recristalização (Figura 2), preparando a austenita para gerar uma ferrita mais fina ⁽⁴⁾.

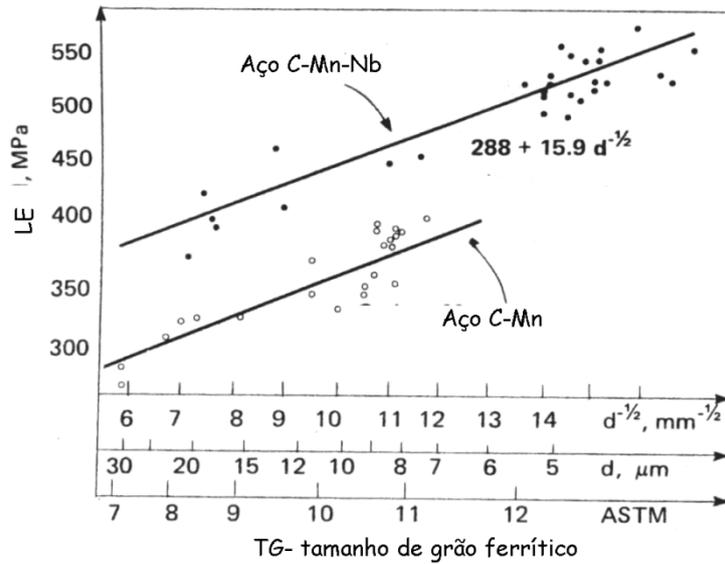


Figura 1. Evolução do limite de escoamento em função do tamanho de grão para um aço C-Mn e para um aço C-Mn-Nb ⁽⁵⁾.

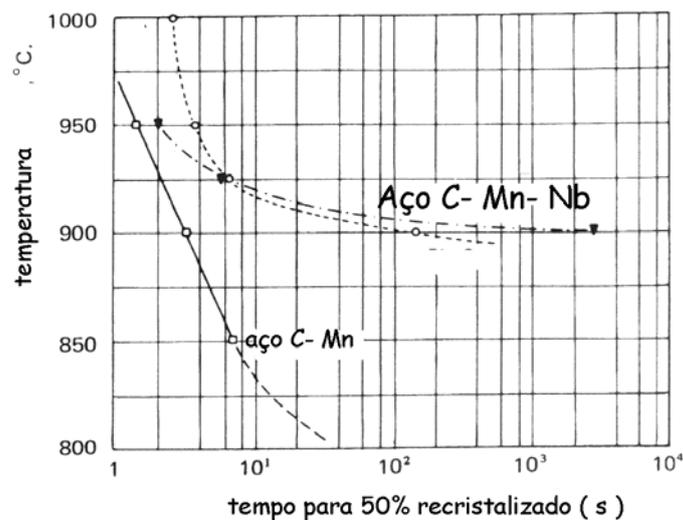


Figura 2. Efeito do Nb causando o atraso na recristalização da austenita ⁽⁵⁾.

Além deste mecanismo, os microligantes também apresentam a tendência à formação de precipitados na forma de carbonetos, nitretos e carbonitretos. A Figura 3 apresenta como este mecanismo contribui para o aumento da resistência do aço.

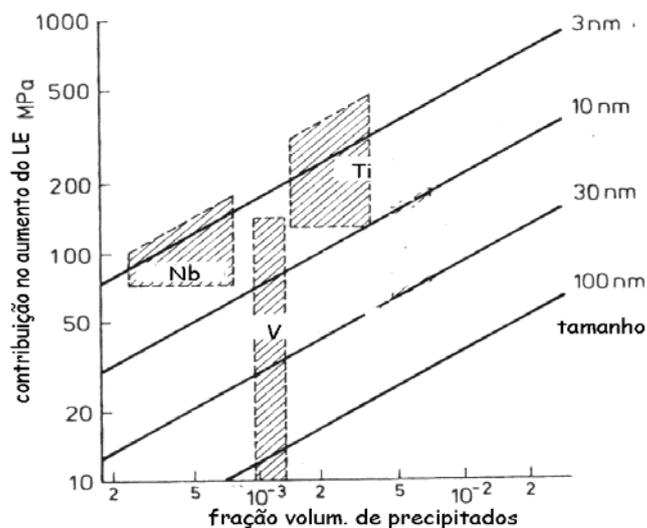


Figura 3. Contribuição da fração volumétrica de precipitados no aumento do limite de escoamento do aço ⁽⁵⁾.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento foi feito a partir de um pedido de chapas grossas de 89 e 100 mm de espessura da qualidade ASTM A516 grau 70 com requisitos de tração e análise química. Ensaios de estrição Z e ultrassom foram adicionais, conforme exposto na introdução. Os resultados químicos e físicos foram obtidos nos laboratórios da Usiminas-Cubatão.

O plano de amostragem seguiu a Figura 4 e a frequência foi de 1 amostra por placa.



Figura 4. Esquema de amostragem realizado nas chapas.

A amostra A foi utilizada para realizar o teste de tração e as amostras B e C para o teste de estrição Z. Foi feita a amostragem deste teste nas duas extremidades da chapa para avaliar se existia diferença de desempenho entre elas. A posição central é a mais crítica para este ensaio por haver a maior concentração da segregação central.

Este pedido foi aplicado em turbinas para geração de energia, no componente destacado pelas setas vermelhas na Figura 5.

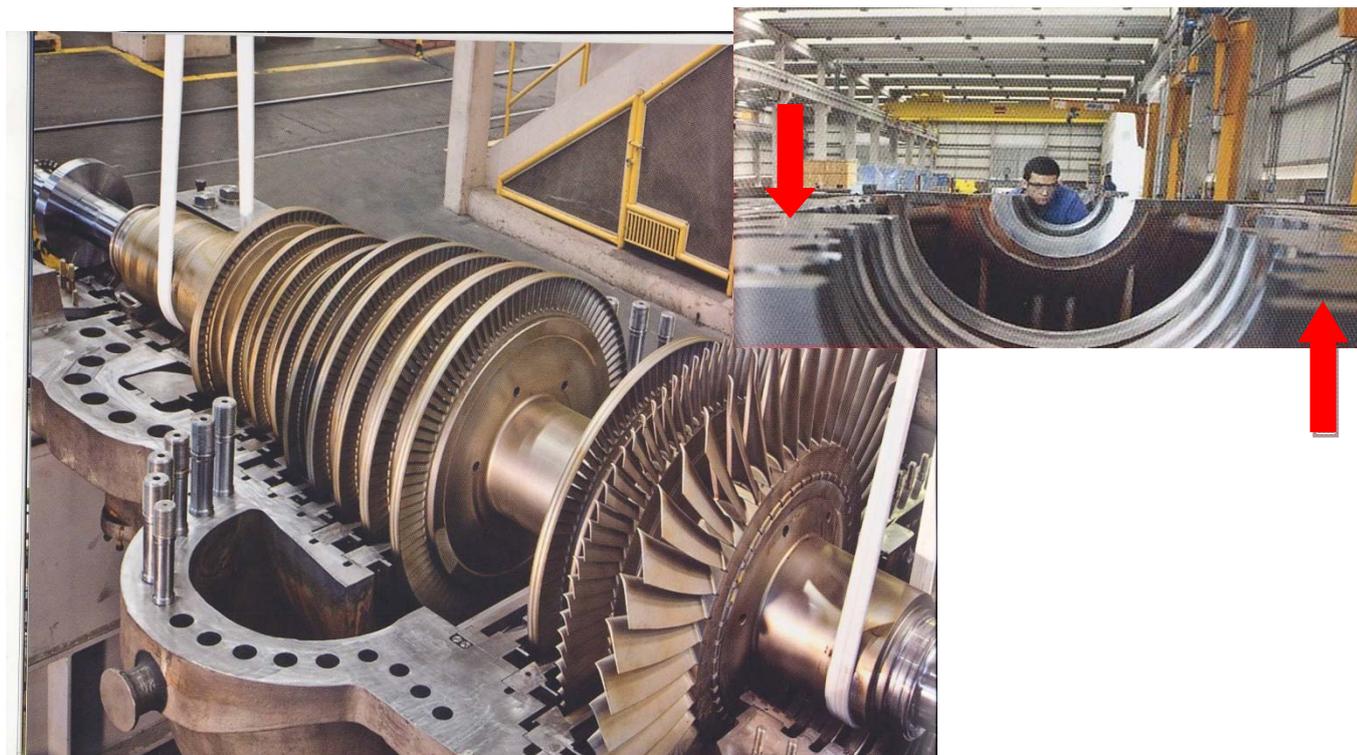


Figura 5. Exemplo de aplicação do material. Fonte: Folder de divulgação de cliente Usiminas.

Para se chegar à especificação desejada, inicialmente foram coletados dados de propriedades mecânicas de chapas com de 76,2 mm, cuja espessura estava próxima da capacidade máxima da usina até então e averiguar qual o desempenho em relação à norma de produto. A composição química deveria atender à especificação mostrada na Tabela 1. A partir destes dados, verificou-se qual seria o projeto de liga que poderia ser usado para compor uma nova especificação.

Tabela 1. Especificação a ser atendida pelo projeto (teores máximos onde não há faixa)⁽⁶⁾

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Cr (%)
0,25	0,85-1,20*	0,15-0,40	0,025	0,025	0,40	0,30
Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Nb (%)	Ti (%)	Cu + Ni + Cr + Mo (%)	Cr + Mo (%)
0,40	0,12	0,1	0,013	0,015	1,00	0,32

* Permitido chegar até 1,50% com redução de carbono.

A concepção o novo projeto de liga deveria ser tal que as propriedades mecânicas fossem obtidas em elevadas espessuras, sem que houvesse aumento significativo do carbono equivalente, de maneira a não comprometer eventuais etapas de soldagem, corte ou conformação. O projeto de liga tradicional, que atende até 76,2 mm, utiliza valores mais elevados de carbono, portanto buscou-se usar a contribuição de microligantes em detrimento ao carbono, manganês, cromo, níquel, cobre e molibdênio, de maneira a reduzir a severidade da segregação central das placas durante o lingotamento e proporcionar refino de grão durante a laminação. Desta forma, chegou-se a um projeto de liga contendo C, Mn, Nb, V e Ti.

Outras etapas bastante importantes foram as de refino secundário e lingotamento. No primeiro foi necessário utilizar recursos de desidrogenação e dessulfuração, não apenas devido à exigência de norma, mas também porque são rotas fundamentais para que o material fosse aprovado nos ensaios de ultrassom e estrição Z. Para reforçar a questão de limpidez o aço foi ainda tratado com cálcio para globulização de inclusões. No lingotamento contínuo foi utilizada a tecnologia de *soft-reduction* para ajudar a amenizar o nível de segregação central.

A laminação foi feita através de processo convencional objetivando-se uma temperatura de acabamento acima dos 800°C. Em seguida as chapas foram normalizadas em forno de tratamento térmico.

Os corpos de prova utilizados para o ensaio de tração apresentavam as dimensões da Figura 6, em milímetros.

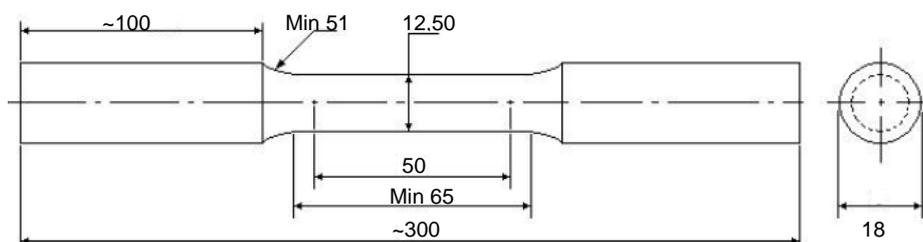


Figura 6. Dimensões do corpo de prova de tração.

E os corpos de prova para o ensaio de estrição Z apresentaram as dimensões conforme figura 7 em milímetros.

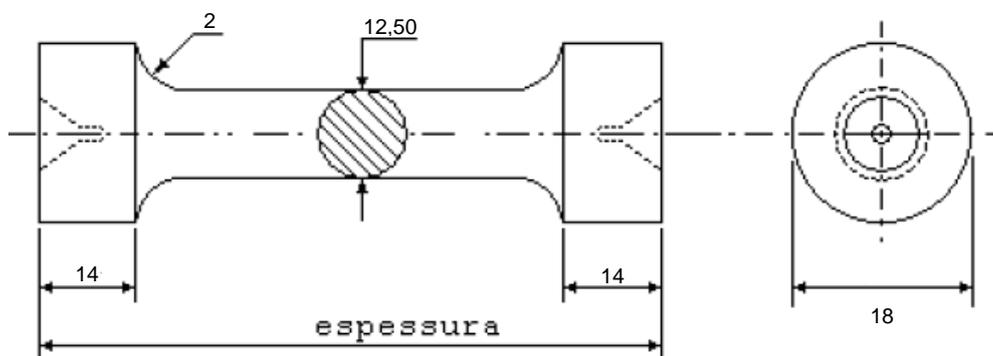


Figura 7. Dimensões do corpo de prova de estrição Z.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão os resultados de propriedades mecânicas das corridas usadas no desenvolvimento do novo projeto de liga. Todos os ensaios foram executados segundo as normas ASTM e os resultados apresentados correspondem a uma média de 58 corpos de prova.

A composição química das corridas produzidas estavam todas conforme os limites apresentados na Tabela 1.

Tabela 2. Valores médios de tração e estrição Z⁽⁷⁾

Tração			Estrição Z		
LE(MPa)	LR(MPa)	AL(%)	Z norma (%)	Z médio (%)	Z mínimo(%)
Min 260	485-620	Min 21	20	37	35
375	530	34			

Nas Figura 8a, 8b e 8c estão os gráficos mostrando as propriedades mecânicas do material. As linhas pontilhadas representam os valores mínimos de norma.

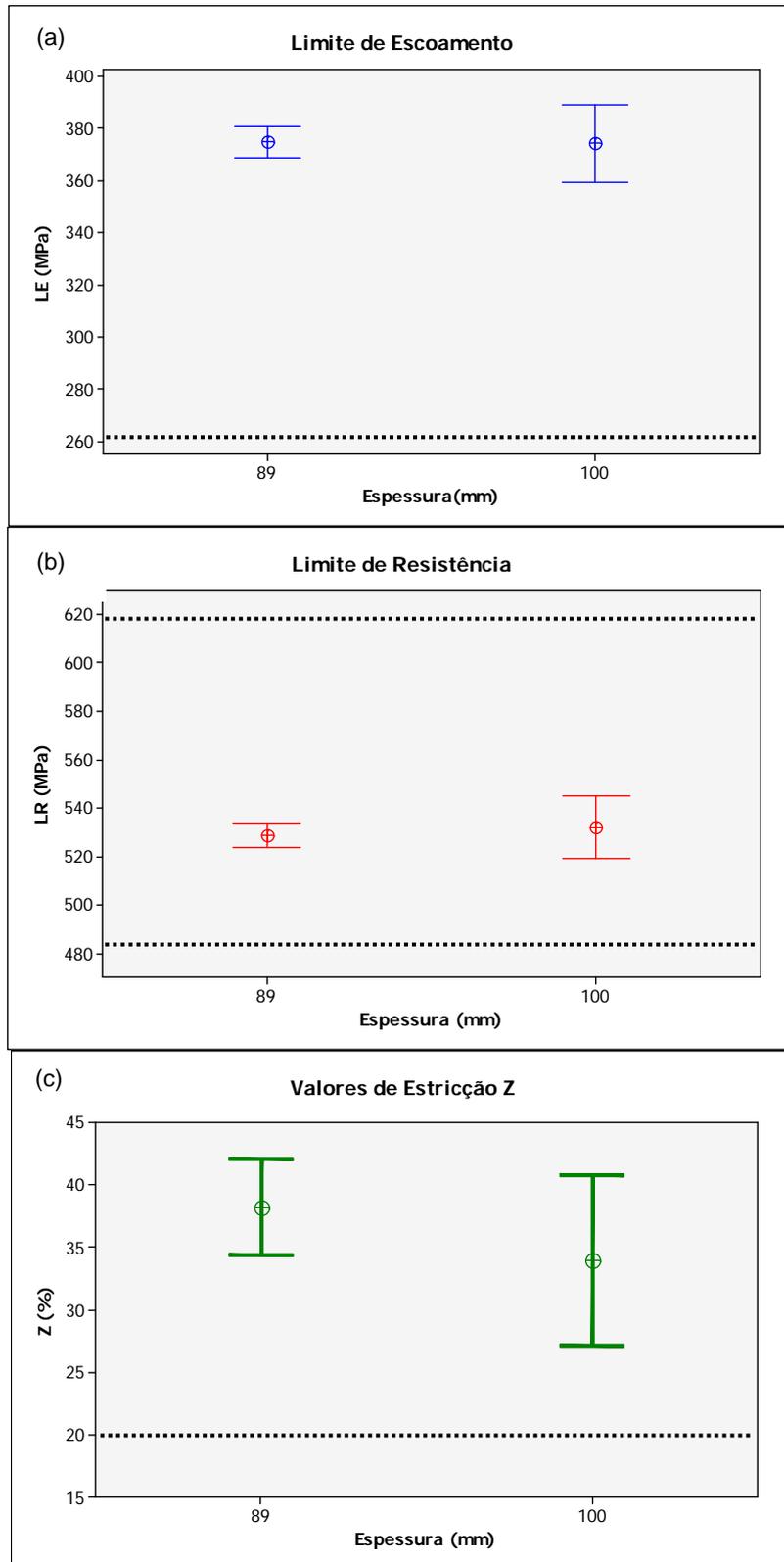


Figura 8. Valores de propriedades mecânicas em função da espessura de chapa. (a) Limite de escoamento, (b) Limite de resistência, (c) Estricção Z. Valores obtidos de 58 corpos de prova.

Os resultados de propriedades mecânicas mostram que o projeto de liga elaborado para atender o produto chapas grossas com aplicação em vasos de pressão, em espessuras acima de 80 mm foi bem sucedido. Os resultados encontrados superam o desempenho das ligas de C-Mn utilizadas pela Usiminas-Cubatão em todas as propriedades medidas.

Na Tabela 3 estão os valores de dureza brinell realizadas em 3 amostras.

Tabela 3. Valores de dureza Brinell

Amostra	Dureza HB
1	144
2	161
3	147

Também foi feita a medição do teor de inclusões em duas amostras conforme norma ASTM E45 para avaliar se a rota de aciaria estava adequada para produzir boa limpidez no aço, sendo que foram encontradas apenas inclusões do tipo D – óxidos globulares, comprovando eficiência do processo de globulização de inclusões via tratamento com cálcio. Os valores encontrados estão mostrados na tabela 4.

Tabela 4. Teor de inclusões segundo norma ASTM E45

Amostra	Sulfetos		Aluminatos		Silicatos		Ox. Globulares	
	Fina	Grossa	Fina	Grossa	Fina	Grossa	Fina	Grossa
1	0	0	0	0	0	0	1	1,5
2	0	0	0	0	0	0	1,3	0,8

O processo de fabricação do aço foi robusto o suficiente para produzir um aço de boa limpidez, conforme visto na Tabela 5. Isto foi reforçado pelos resultados positivos de ultrassom e estricção Z.

Para verificação da microestrutura foi retirada uma amostra conforme Figura 9a. O resultado encontrado pode ser visto na Figura 9b.

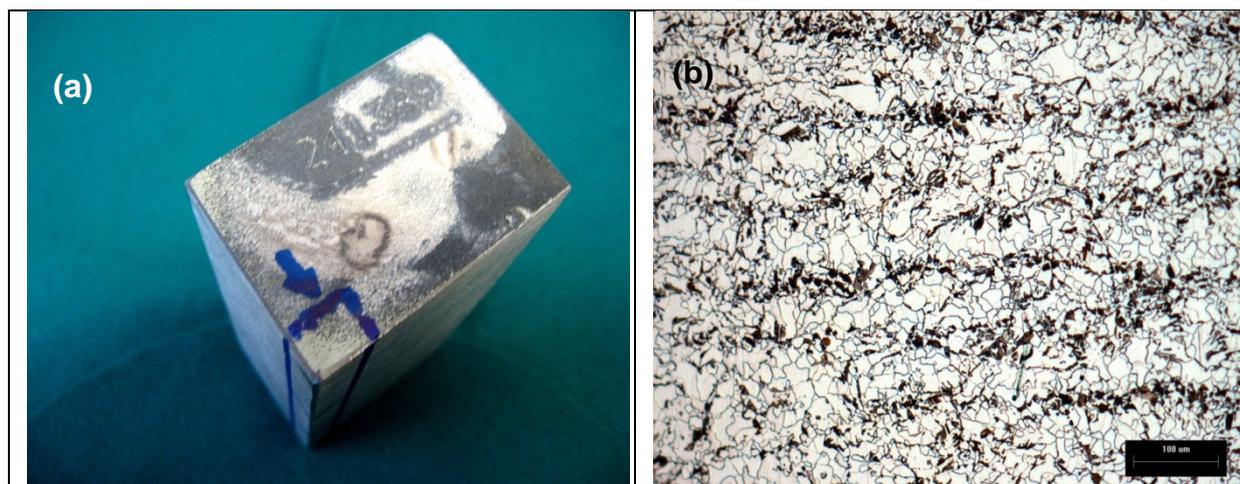


Figura 9. (a) Amostra de chapa para retirada de corpo de prova para metalografia. (b) Metalografia preparada com ataque de nital 2%.

A microestrutura apresentada mostra que ainda pode-se melhorar o nível de controle do processo de tratamento térmico, pois percebe-se a presença de bandeamento de perlita.

4 CONCLUSÃO

Os valores encontrados de propriedades mecânicas e desempenho de ultrassom mostram que é possível produzir chapas de até 100 mm de espessura sem a necessidade de se estabelecer uma redução de placa para chapa maior ou igual a 3 para 1.

O sucesso alcançado nos ensaios de estrição Z e ultrassom foi graças à tecnologia de *soft reduction* presente na máquina de lingotamento contínuo, à limpeza promovida pelo refino secundário usando um conjunto de equipamentos e ao refino de grão proporcionado pela presença de microligantes no aço.

Futuramente pretende-se incrementar o limite de resistência através de um controle mais rigoroso da temperatura de acabamento na laminação. Isto poderá gerar uma microestrutura ainda mais propícia a gerar grãos finos após o tratamento de normalização.

Obteve-se êxito na abertura de um mercado interessante, visto que o país passa por uma fase de crescimento, aumentando a demanda por estes materiais de infraestrutura. O material deste trabalho em particular é atrativo para a Usiminas em virtude do preço de venda elevado por possuir alto valor agregado.

REFERÊNCIAS

- 1 A 20/A 20M – 06 – General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.
- 2 A 578/A 578M – 07 – Standard Specification for Straight Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron Steel Products, Vol 01.04, 2009
- 3 – MATSUBARA, D.B., Desenvolvimento de Chapas Grossas para Vasos de Pressão com Requisito de Impacto e Baixo Teor de Nióbio, 65^o Congresso Internacional da ABM, Rio de Janeiro (RJ), 26 a 30 de Julho, 2010.
- 4 KORCHYNSKY, M.. HSLA Steels Technology and Applications. In: Conference Proceedings of International Conference on Technology and Applications of HSLA Steels. Philadelphia - Pennsylvania, October 1983.
- 5 – Notas de aula do Prof. Dr. Ronald Lesley Plaut para curso de “Metalurgia Física das Transformações Mecânicas”, Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.
- 6 A 516/A 516M – 06 – Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, For Moderate and Lower Temperature Service. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.
- 7 A 370 – 08a – Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.