

# DESENVOLVIMENTO DE AÇOS LAMINADOS A QUENTE NA ARCELORMITTAL TUBARÃO PARA APLICAÇÃO NAVAL<sup>1</sup>

André Carvalho Prado<sup>2</sup>  
José Rubens Ribeiro Filho<sup>3</sup>  
Wilson Guilherme B. Aquino Ney<sup>4</sup>  
Aristóteles Nogueira da Silva<sup>5</sup>  
Rogério Paim Dias<sup>6</sup>  
Roverlei Ciglio<sup>7</sup>

## Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de aços laminados a quente para o mercado naval feito pela ArcelorMittal Tubarão, assim como testes realizados pelas classificadoras navais no material, visando aprovação e certificação para atendimento a indústria de transporte marítimo. A espessura máxima produzida pelo Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão é de 19,00 mm e a largura máxima é de 1880 mm, dessa forma, podendo participar de mercados que antes eram exclusivos de chapas grossas. Os graus disponíveis para comercialização são: A, B, D e AH-32 (este último em homologação), estando a ArcelorMittal Tubarão certificada pelas principais Classificadoras Navais. Este produto é ofertado como bobina e processado em centros de serviços capazes de desbobinar, aplainar e cortar em chapas, estando então prontos para serem enviados aos estaleiros para aplicação final nas embarcações. A disponibilidade deste produto se torna muito importante para o mercado consumidor, já que se trata de mais uma alternativa de fornecimento de matéria prima para os estaleiros.

**Palavras-chave:** Aço laminado; Laminação a quente; Aplicações navais

## DEVELOPMENT OF HOT ROLLED STEEL PLATES BY ARCELORMITTAL TUBARÃO FOR SHIPBUILDING APPLICATIONS

### Abstract

This paper takes into account the development of hot rolled (HR) steel plates for shipbuilding end-uses carried out by ArcelorMittal Tubarão, as well as try-outs carried through HR steel plates for Shipbuilding Societies, whose goals are to approve and certify the above mentioned steel products in order to meet the requirements for the maritime transportation industry. ArcelorMittal Tubarão's Hot Strip Mill is able to roll up to 19.00 mm-thick vs. 1,880 mm-wide steel coils, hence being able to take part in markets that were previously taken up by thick plates. ArcelorMittal Tubarão supplies the shipbuilding steel market through A, B, D and AH-32 (the last one in certification process) steel grades, all of them properly certified by main Shipbuilding Societies worldwide. HR steel coils for shipbuilding applications are supplied and "cut-to-length" at Steel Service Centers able to level them off and to cut them into plates. Afterwards, the HR steel plates are ready to be shipped out to shipyards for final applications such as vessel, barge, and boat hulls. The product availability in the steel market is important as an alternative supply for shipyards.

**Key words:** Rolled steel; Hot rolling; Applications

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

<sup>2</sup> *Engenheiro de Assistência Técnica da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>3</sup> *Consultor Técnico da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Desenvolvimento de Produtos da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>5</sup> *Engenheiro de Garantia da Qualidade da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>6</sup> *Engenheiro do Laboratório de Ensaios Mecânicos da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>7</sup> *Engenheiro Vendas e Marketing da ArcelorMittal Belgo*

## 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão, na época concebida como Companhia Siderúrgica de Tubarão, maior produtora mundial de semi-acabados de aço, foi constituída em Junho de 1976, como uma *joint-venture* de controle estatal. Suas operações começaram em Novembro de 1983. Nesse período, a ArcelorMittal Tubarão criou e consolidou sua liderança no mercado, passando por profundas transformações, intensificadas após a privatização em 1992. A partir daí, a companhia passou a ser controlada por grupos nacionais e internacionais. Hoje, pertence à ArcelorMittal, grupo com usinas em todo mundo e de produção anual de 110 milhões de toneladas de aço líquido.

A ArcelorMittal Tubarão, vem se modernizando nos últimos anos, sendo que em agosto de 2002, após um investimento de US\$ 450 milhões partiu seu Laminador de Tiras a Quente (LTQ). A partir daí, passou a fornecer Bobinas Laminadas a Quente (BQ's) no mercado doméstico e também para exportação.

Sempre buscando mercados com aplicações exigentes e de maior valor agregado a CST iniciou o desenvolvimento de aços para aplicação naval. O desenvolvimento passou pela laminação de bobinas grossas com espessura de até 19 mm e largas até 1.880 mm, assim como o acompanhamento do processo de corte em chapas nos centros de serviços aptos a realizar este tipo de atividade.

Através de desenvolvimentos conjuntos com a ArcelorMittal Belgo e os Estaleiros, foi possível o atendimento da qualidade desejada.

Houve também um envolvimento importante por parte das entidades classificadoras navais, das quais a CST obteve certificação. São elas: ABS, BV, CCS, DNV, GL, KR, LR e RINA.

Atualmente a CST está apta a oferecer ao mercado chapas de aço certificadas nos graus A, B, D e AH-32 (este último em homologação) nas dimensões máximas de 16,00 x 1.880 mm. Também encontram-se em processo de homologação os graus A e B entre 16,01 e 19,00 x 1.880 mm.

Desde o segundo semestre de 2006 fornecendo chapas para estaleiros do Rio de Janeiro, Manaus e Belém, a ArcelorMittal Tubarão já acumula um volume significativo de despacho, atingindo volumes de cerca de 50 mil toneladas.

A Figura 1 mostra uma representação esquemática do Laminador de Tiras a Quente (LTQ), que é composto por um forno de reaquecimento de placas, um laminador de desbaste, coil box, um trem acabador com seis cadeiras de laminação, laminar flow (resfriamento da tira) e duas bobinadeiras. Trata-se de um LTQ moderno, com tecnologia suficiente para atender às mais exigentes demandas da indústria naval.

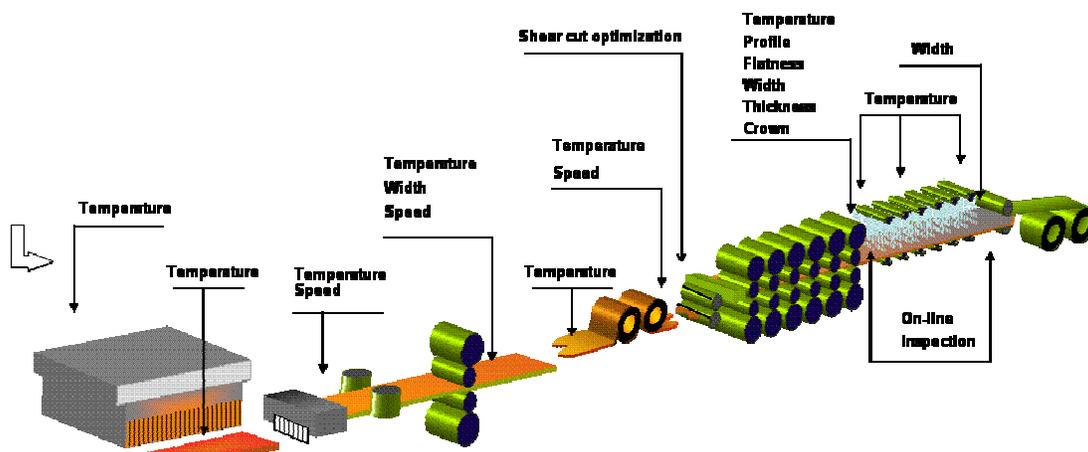


Figura 1 – Representação esquemática do Laminador de Tiras a Quente (LTQ)

## 2 PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO NAVAL

Aproveitando as características técnicas de seu LTQ, após 2 anos em operação a ArcelorMittal Tubarão desenvolveu composição química e parâmetros de processo, que resultaram em propriedades mecânicas adequadas ao atendimento dos graus navais A, B e D. Seguindo as diretrizes da empresa com vistas ao mercado, a ArcelorMittal Tubarão decidiu pela homologação de suas Bobinas Laminadas a Quente para chapas grossas navais.

Da mesma forma, à época de homologação de suas placas para processamento em chapas grossas navais, a CST coordenou uma reunião com todas as classificadoras com escritórios no Brasil, tendo sido sugerida a elaboração de um plano de testes detalhado.

O plano de testes foi aprovado pelas classificadoras para até o grau D tendo sido operacionalizado a partir do segundo semestre de 2005. Todas as etapas foram cumpridas e o relatório final foi elaborado e enviado para as classificadoras em outubro 2005.

Os pareceres finais das classificadoras foram recebidos durante o primeiro trimestre de 2006.

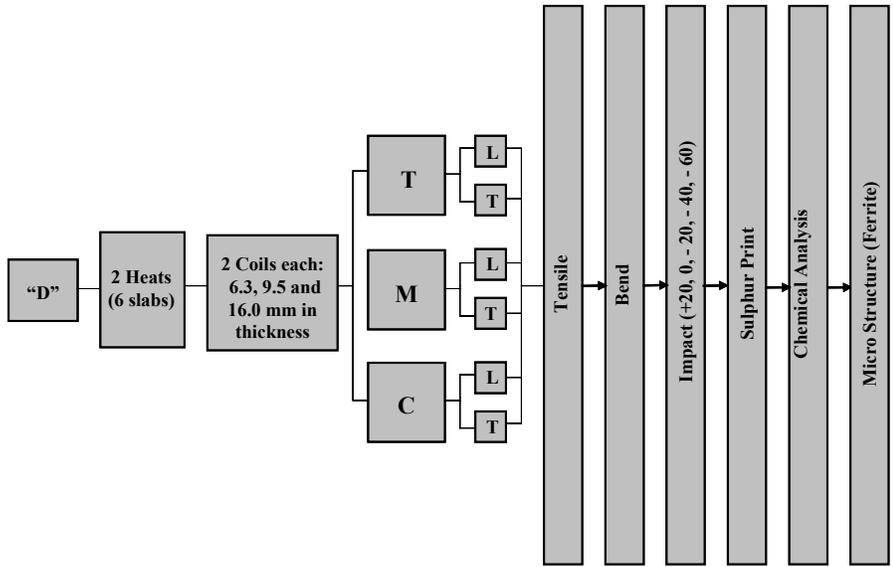
### 2.1 Plano de Testes para Certificação Naval

Foi elaborado um plano de testes visando atender as demandas das entidades classificadoras para o processo de certificação.

Tabela 1 – Plano de certificação

Ship Grades	Steelmaking Process, Slabs and Coil Thickness						Remark
	Coil Thickness	Maker	Casting Method	Deoxidation	Grain Refining Element	Slab Thickness (mm)	
"A"	Max. 16 mm	CST	Continuous Casting	Al- Si Killed	Al	200/225 or 250 mm	As- Rolled
"B"	Max. 16 mm	CST	Continuous Casting	Al- Si Killed	Al	Idem	As- Rolled
"D"	Max. 16 mm	CST	Continuous Casting	Al- Si Killed	Al	idem	As- Rolled

Nota: A certificação do grau "D" é extensiva aos graus "A" e "B"



Legenda: T = Topo / M = Meio / C = Cauda; L = Longitudinal / T = Transversal

**Figura 2 – Testes aplicados**



**Figura 3 – Bobina produzida no LTQ para certificação naval**



**Figura 4 – Após o corte, identificação das chapas**



**Figura 5 – Amostras identificadas para ensaios mecânicos**

### **3 PROCESSO DE PRODUÇÃO NO LTQ E CORTE**

Em 2002, a companhia diversificou a sua produção, com a implantação de um Laminador de Tiras a Quente (LTQ) que incorpora a mais avançada tecnologia disponível no mercado. O LTQ da ArcelorMittal Tubarão tem capacidade nominal de 2 milhões toneladas (t) / ano com previsão de expansão para 4 milhões toneladas (t) / ano. A ArcelorMittal Tubarão fornece produtos numa faixa de espessura de 1,2 a 19,0 mm e largura entre 700 e 1.880 mm em várias especificações e atendendo às mais exigentes aplicações dos clientes, tais como: rodas, longarinas, botijões, compressores, perfis estruturais, tubos, matéria prima para laminação a frio, folha metálica, produtos galvanizados, além de bobinas grossas a serem beneficiadas em Centros de Serviços de maneira a obter o produto chapa grossa (CG).

As chapas grossas para aplicações estruturais gerais e navais são obtidas após o processamento de corte das bobinas nos centros de serviços.

A ArcelorMittal Tubarão vem aumentando e enobrecendo seu mix de produção, além de realizar melhorias operacionais e ambientais. Em 2007, após investimentos de mais de US\$ 1 bilhão, a empresa viabilizou um incremento na sua capacidade produtiva de 5 milhões para 7,5 milhões de t/ano.



**Figura 6 – LTQ da ArcelorMittal Tubarão**

Depois de produzidas no LTQ, as bobinas seguem para centros de serviços aprovados, com desempenadeiras eficientes, onde serão processadas em linhas de corte transversal.

O processo de corte é acompanhado pela Classificadora Naval correspondente e as chapas devidamente marcadas e identificadas.



Figura 7 – Corte em Chapas no Centro de Serviço

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Graus “A”, “B” e “D”

#### 4.1.1 Propriedades mecânicas

Seguem abaixo dados estatísticos referentes aos testes mecânicos realizados nas bobinas a quente utilizadas para atendimento aos graus navais de “A” a “D”. Vale lembrar que já foram produzidas cerca de 50.000 toneladas destas qualidades de aço até fevereiro de 2008.

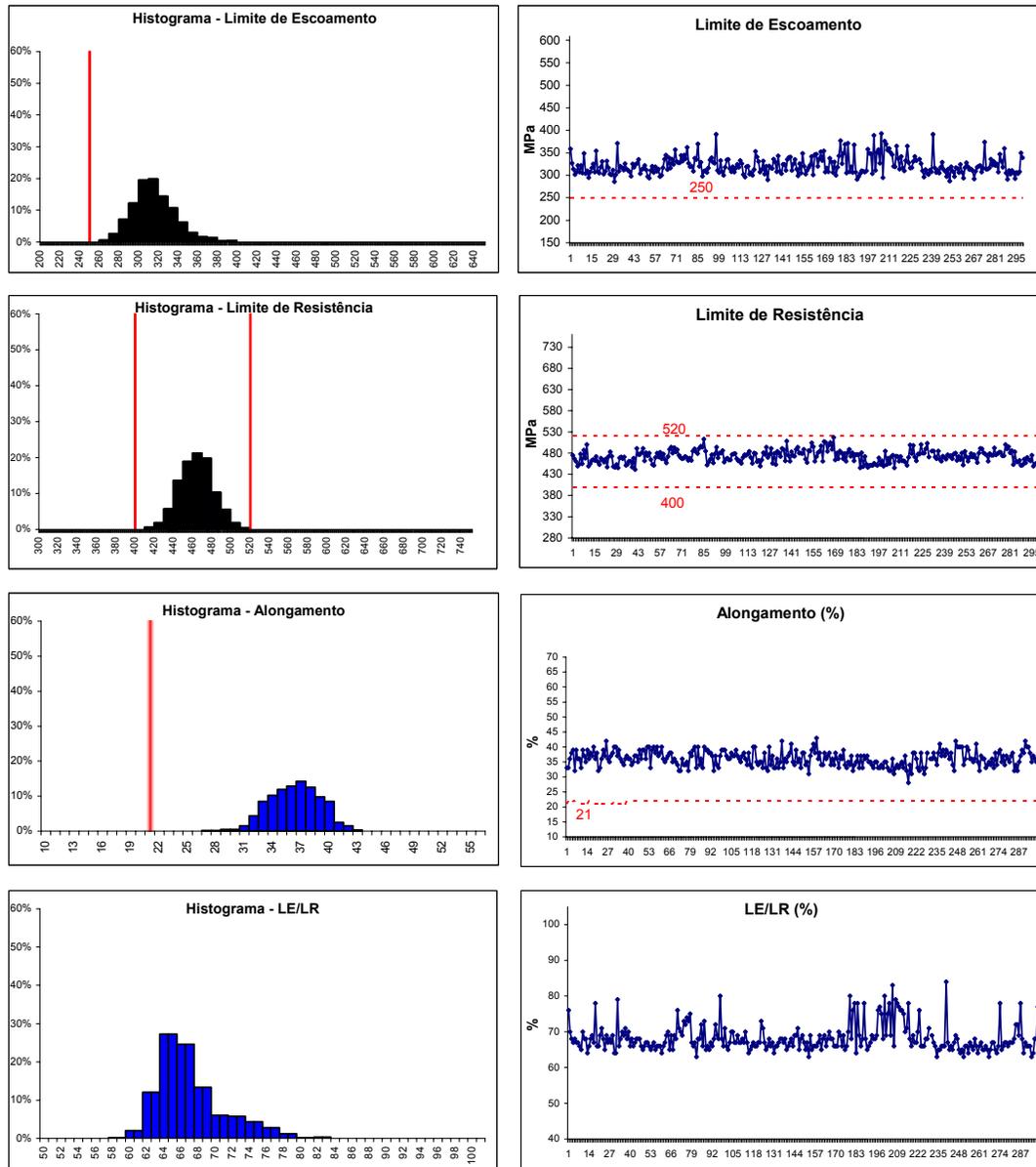
Tabela 2 – Resultados de propriedades mecânicas

	Especificado		Resultados							
	Min	Máx	Min	Máx	Média	Desv. pad	LIC	LSC	Pp	Ppk
Escoamento	250		261,0	393,0	316,5	21,9	250,6	382,3	1,1	1,0
Resistência	400	520	416,0	517,0	464,9	17,8	411,5	518,3	1,1	1,0
Alongamento	21		27,0	43,0	36,3	2,7	28,4	44,3	9,4	1,9
LE/LR			60,0	84,0	68,1	3,9	56,2	79,9	NA	NA

#### Espessura do Pedido

Mínimo	6,3
Máximo	16

Direção do Teste: **Transversal**



**Figura 8** – Gráficos dos resultados das propriedades mecânicas (limite de escoamento, limite de resistência, alongamento e razão elástica)

**Tabela 3** – Resultados do ensaio de charpy – Grau “D”

### CHARPY (- 20 °C)

#### Resultados

	Min	Máx	Média	Desv_pad
Energia Méd. (J)	28,3	246,2	88,0	62,4

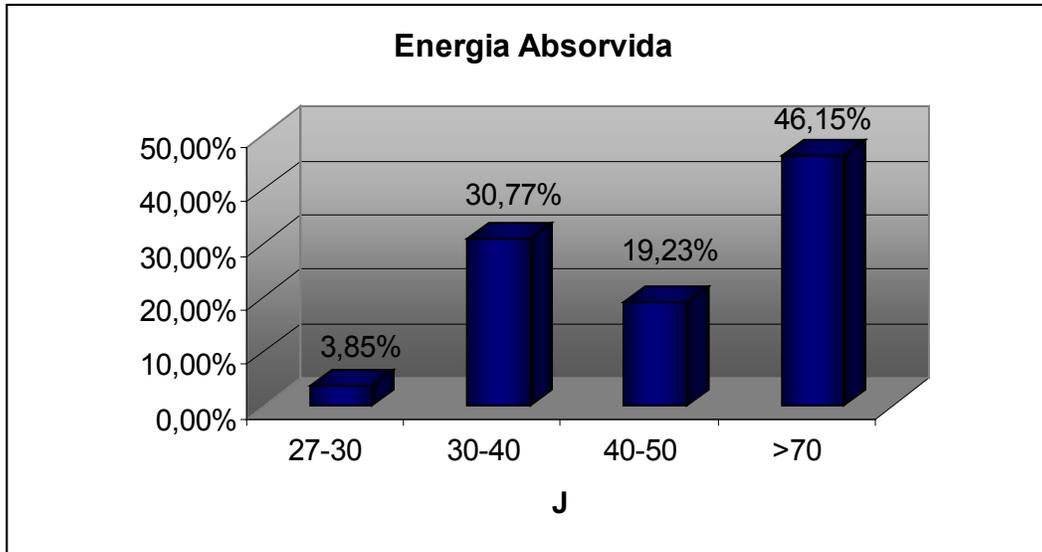


Figura 9 – Distribuição dos resultados do teste de impacto (Charpy)

#### 4.1.2 Composição Química

GRAUS DE AÇO/ ELEMENTOS QUÍMICOS (%)	A	B	D
C (max)	0,21	0,21	0,21
Mn (min)	2,5 X C	0,8	0,6
S (max)	0,5	0,35	0,35
P (max)	0,035	0,035	0,035
S (max)	0,035	0,035	0,035
Al (solúvel) min	0,015	0,015	0,015

Notas: a- A composição química citada refere-se ao valor máximo exigido por norma; b- Todas as qualidades devem ser produzidas como bobinas a quente; c- Fórmula Ceq:  $C + Mn/6 \leq 0,40\%$ ; d- A especificação química acima refere-se à espessura de bobina a quente  $\leq 16$  mm; e- De acordo com a CST, o material é produzido como acalmado (Al-Si).

#### 4.2 Grau “AH-32”

##### 4.2.1 Fase de homologação (testes internos preliminares à convocação das entidades classificadoras)

- ⇒ 14 BQ's laminadas;
- ⇒ Dimensões: 6,30 / 9,5 / 12,5 e 16,0 x 1830 mm;
- ⇒ Peso: 450 t; Peso unitário: até 35,5 t
- ⇒ Material peritético microligado ao Nb e com adição de Ca;

##### Requisitos de propriedades mecânicas

LE (MPa)		LR (MPa)		Al (%)
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín
315	-	440	570	22

Charpy Convencional e Envelhecido: Mín = 27 J

- **Resultados preliminares**

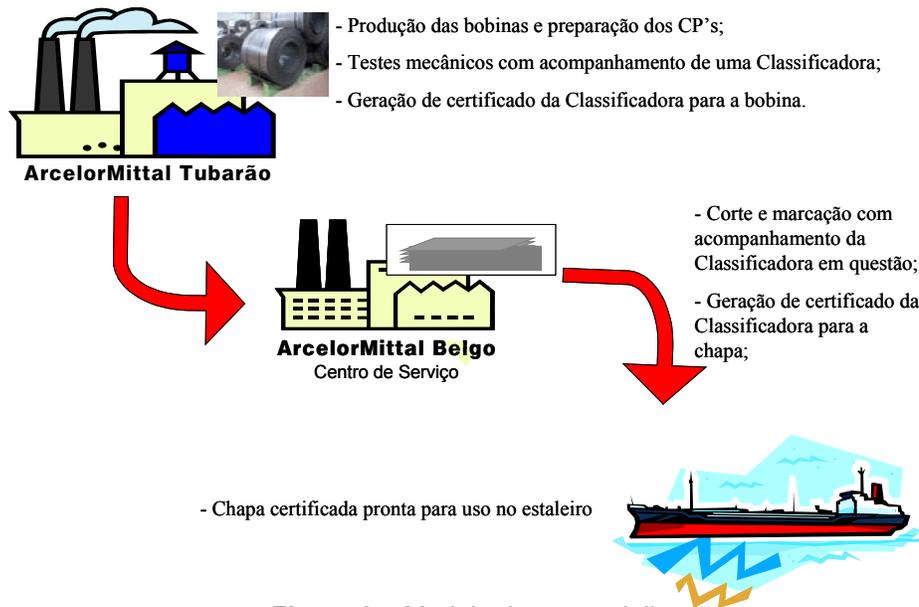
**Tabela 4-** Resultados de propriedades mecânicas para o grau AH-32

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio	Ensaio de Impacto		Ensaio de Tração		
		Convencional	Envelhecido	LE (MPa)	LR (MPa)	AI (%)
		Energia Absorvida				
6,30 x 1830	<b>- 20°C</b>	86	72	542	570	26
9,50 x 1850		148	103	469	565	29
16,0 x 1830		163	101	438	549	33

Após a realização dos ensaios citados acima, foram convocadas as Classificadoras Navais para a realização dos ensaios oficiais de homologação. O prazo previsto para conclusão deste processo de certificação é março de 2008.

## 5 PROCESSO DE COMERCIALIZAÇÃO

A comercialização das chapas grossas para a indústria naval é feita através da ArcelorMittal Belgo, seguindo o modelo conforme figura 9.



**Figura 9** – Modelo de comercialização

## 6 CONSIDERAÇÕES

Bobinas de aço da CST certificadas segundo as Classificadoras Navais ABS, BV, CCS, DNV, GL, KR, LR e RINA estão disponíveis como mais uma alternativa de matéria prima para a indústria naval de fabricação e reparos.

As Bobinas já classificadas permitem, para os consumidores finais, Chapas Grossas nos centros de serviços sem restrições quanto à quantidade mínima e comprimento da chapa, ou seja, disponibilidade de material classificado no Centro de Serviço Prazo de entrega e preços competitivos.

Chapas Grossas de Bobinas já são largamente aplicadas na indústria naval no Japão e Coréia. Só de algumas usinas destes países, anualmente, mais 200 mil toneladas de chapas grossas de bobinas são processadas nas linhas de corte das próprias usinas e nos centros de serviços.

Considerando uma mesma dimensão, o custo da Chapa Grossa de bobina é menor do que o custo da Chapa Grossa tradicional, de Plate Mill.