

CHAPAS GROSSAS DE ALTA RESISTÊNCIA
ORIGINADAS DO LINGOT. CONTÍNUO-(1)

- (2) Rui de Siqueira Fontes
- (3) Ed Juarez Mendes Taiss
- (4) Takashi Miyashita

R E S U M O

São comentados e analisados os aspectos metalúrgicos e operacionais relacionados com a produção de Chapas Grossas de $LR \geq 50 \text{ Kg/mm}^2$ originadas de placas produzidas em lingotamento contínuo.

- (1)-Trabalho a ser apresentado no XIV Simpósio de Laminação da ABM em Guarujá-SP.
- (2)-Membro da ABM-Engenheiro Siderúrgico da Unidade de Padronização e Coordenação.
- (3)-Membro da ABM-Engenheiro Industrial Metalúrgico da Unidade de Padronização e Coordenação.
- (4)-Membro da ABM-Engenheiro Metalurgista Staff do Departamento de Metalurgia e Inspeção.

I - INTRODUÇÃO

A produção de aços de alta resistência no lingotamento contínuo é consequência do desenvolvimento por que passa esse equipamento no mundo siderúrgico atual.

Japão, Alemanha e EEUU produzem praticamente todas as qualidades de LR $\geq 50\text{Kg/mm}^2$. É bem verdade, que nestes países, foram desenvolvidas técnicas adicionais de Lingotamento Contínuo resultando daí a obtenção de excelentes resultados qualitativos.

Na USIMINAS, o desenvolvimento de qualidades de LR $\geq 50\text{Kg/mm}^2$ no lingotamento contínuo apresenta novas perspectivas possibilitando maiores alternativas em sua linha de produção além de desenvolver uma tecnologia própria nesse equipamento.

II - DISCUSSÃO TÉCNICA

O desenvolvimento de qualidades de alta resistência no Lingotamento Contínuo tem sido levado a efeito gradualmente armazenando-se conhecimentos que são aplicados a cada nova experiência.

Os valores dos testes de tração, choque, dobramento, Baumanns e ultra-som são indicadores da homogeneidade da qualidade das chapas grossas. Os valores característicos dos testes descritos devem ser mantidos a certo nível tanto para os produtos originados do Lingotamento Contínuo como os do convencional. Na verdade, deve-se reconhecer que há diferenças de características entre os dois tipos de materiais originados principalmente durante o lingotamento. Nos lingotes a concentração de segregação ocorre nos topos enquanto que nas placas do Lingotamento contínuo a segregação ocorre no meio da espessura ao longo de todo seu comprimento. Sendo esta a característica principal das diferenças entre os dois métodos de lingotamento.

Baseado no que foi mostrado, e considerando-se as características das placas lingotadas em Contínuos foi feita a seleção dos tipos de aço por aplicação, estabelecendo-se as condições operacionais das máquinas e os pontos a serem observados no período de experiências.

Neste trabalho são apresentados os fatores de qualidade que caracterizam os materiais do Lingotamento Contínuo, com LR \geq 50Kg/mm².

A primeira qualidade a ser desenvolvida foi o NTU-SAR-50 com as características mostradas no quadro a seguir:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA						PROPRIEDADE MECÂNICA Kg/mm ²	
C %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %	LR	LE
≤	≤	≤	≤	≤	≤	50	≥
18	1,50	0,040	0,040	0,55	0,05	58	33

1- Qualidade das Placas

A figura abaixo apresenta a distribuição das placas amostradas para impressão de Baumann.

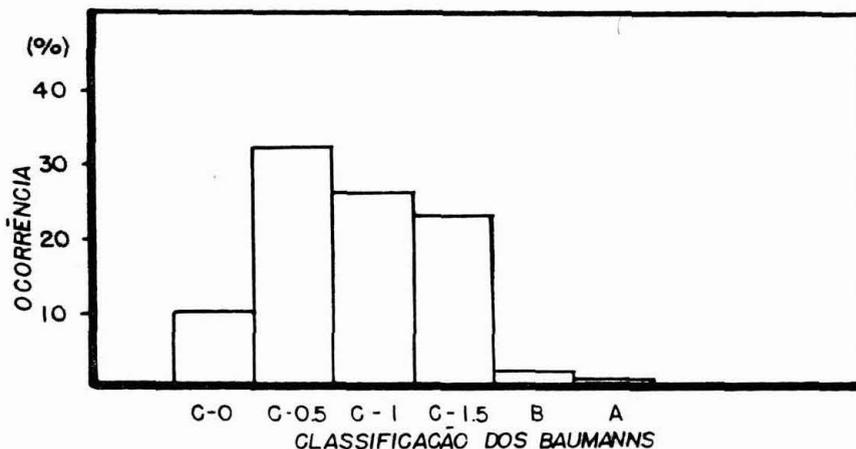


FIG. - 01 - OCORRÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO DOS BAUMANN'S DAS PLACAS

Os valores apresentados na figura 01 mostram a performance das máquinas e definem o nível de qualidade do material a ser enviado à laminação. Os casos B e A foram originados de placas de extremo de Lingotamento sendo sucata ainda na Aciaria.

A qualidade superficial das placas pode ser analisada na figura 02.

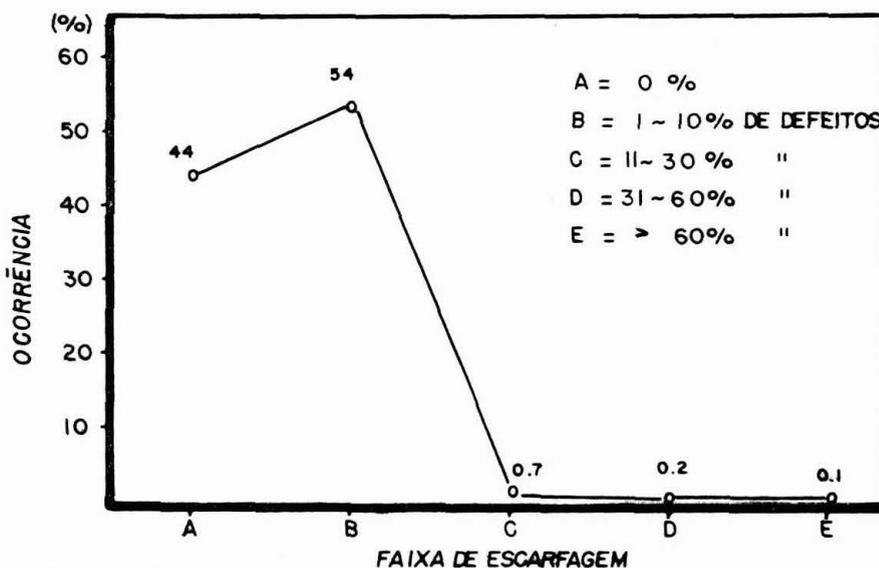


FIG-02 - ÁREA ESCARFADA DAS PLACAS

Da mesma forma que para a qualidade interna também a superficial se apresentou com boa performance. Os defeitos que originaram escaufagem, foram: trinca longitudinal e trinca estrela de fácil remoção.

2- Laminação de Chapas Grossas

Foi definido inicialmente o fluxograma de fabricação bem como a sistemática de acompanhamento em todas as fases de processamento do material.

PROCESSO	CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO
<pre> graph TD A[Laminação] --> B[Normalização] B --> C[Inspeção de forma e aspec.] C --> B C --> D[Inspeção no Ultra-Som] D --> E[Testes Mecânicos] E --> F[Análise] </pre>	a) Espessura da chapa-Red.Placa/chapa. 15 mm - 16,7 20 mm - 12,5 30 mm - 8,3 50 mm - 5,0
	b) Reaquecimento 1250°C c) Laminação longitudinal d) Temperatura de acabamento ≤ 950°C e) Temperatura de despeno ≥ 700°C
	Conforme padrão interno
	Segundo a Norma ASTM-A-6
	a) Todas as chapas com UST Krautkramer b) Segundo Norma SEL 072-69 c) Frequência: 4 MHz (esp ≤ 40,0 mm) 2 MHz (esp > 40,0 mm) d) Registro em mapas
	a) Teste de tração (long. e transv) b) Teste de impacto (" ") c) Teste de dobramento 4E, 3E, 2E, 1E, 0E d) Microestrutura (1/4 e 1/2 da esp) e) Impressão de Baumann f) Check Análise g) Análise dos defeitos internos
	Análise final pelo grupo de acompanhamento.

Apesar de não ser aconselhável tecnicamente laminar Chapas Grossas com reduções inferiores a 8, foram produzidas espessuras com reduções menores, visando conhecer o comportamento do material / extra grosso, proporcionando assim uma melhor análise da qualidade em todas as espessuras.

Na laminação tomou-se cuidados na elaboração das escalas' de passes, visando sempre fortes reduções, e um controle eficiente / nas temperaturas antes dos 3 últimos passes e de acabamento.

Algumas chapas foram normalizadas para confronto de qualidade no ultra-som.

3- Inspeção por Ultra-Som

No produto de Chapas Grossas de alta resistência a partir de placas do Lingotamento Contínuo, a inspeção por ultra-som é uma das fases de checagem de maior importância. Os resultados obtidos de finem as limitações de produção em função da espessura do produto.

A fig 03 compara os resultados por tipo de lingotamento e espessura do produto.

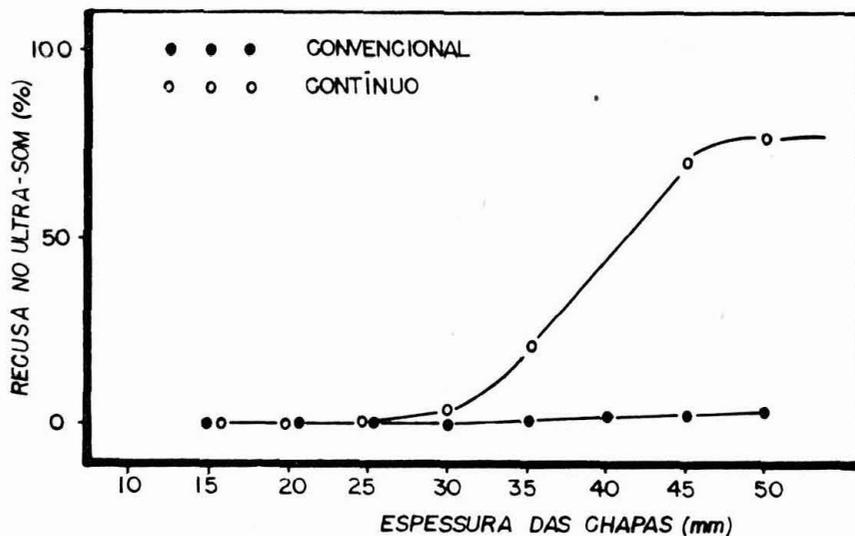


FIG.03 - RECUSA NO ULTRA-SOM POR TIPO DE LINGOTAMENTO

No material originado do lingotamento contínuo observou-se uma recusa de 1,5 % até a espessura de 30,0 mm. Acima desta espessura a recusa foi maior, como já era esperado. Para evitar essa ocorrência, técnicas adicionais do lingotamento contínuo ou tratamento térmico na laminação são alternativas que podem ser utilizadas. A figura 04 apresenta a recusa no ultra-som por tratamento na laminação.

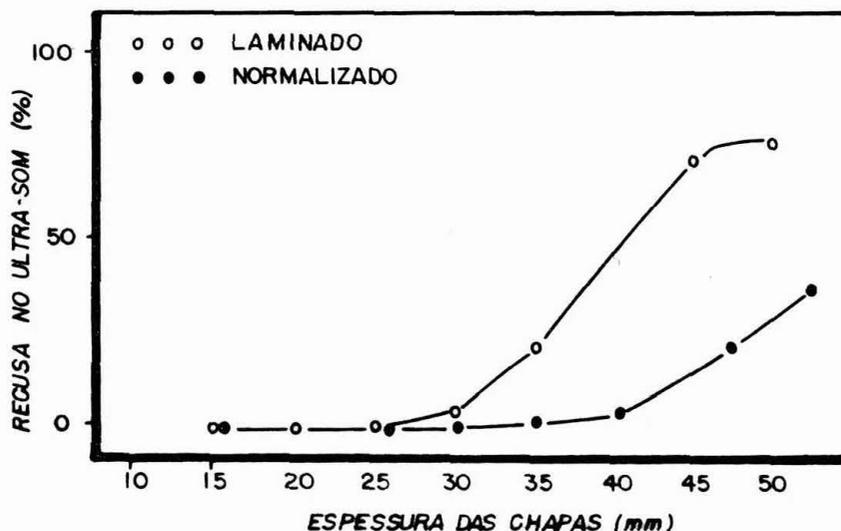


FIG.04 - RECUSA NO ULTRA-SOM POR TRATAMENTO NA LAMINAÇÃO

Com a normalização é possível produzir chapas grossas de 40,0 mm de espessura com recusa inferior a 1,0 %.

4- Análise dos Defeitos Internos

As descontinuidades internas, principalmente em chapas de espessura superior a 30,0 mm são originadas por segregação de elementos solúveis no Aço (Mn e P) concentradas no meio da espessura das chapas, ao longo de quase toda a largura. Esta segregação está diretamente ligada às características e condições das máquinas de lingotamento contínuo.

Na análise metalográfica, da região defeituosa detetada pelo ultra-som (Fig. 5 e 6) observou-se estruturas bainíticas e/ou martensíticas. O nível de segregação foi comprovado através da análise por microsonda.



Fig.05 - Estrutura metalográfica da região defeituosa. 500x



Fig.06 - Estrutura metalográfica da região defeituosa. 500x

Esta segregação aumenta notoriamente a temperabilidade / desta faixa central e apesar da velocidade de resfriamento nesta região ser menor observou-se a ocorrência das estruturas bainíticas e ou martensíticas.

A prática demonstra que com maiores reduções tem-se um nível menor de segregação no produto final, não permitindo a formação de trincas internas provenientes destas estruturas.

Além da segregação central, o nível de $|H|$ no aço e o aparecimento de inclusões alinhadas de MnS colaboram na formação de trincas internas.

5- Ensaio de Tração

Os resultados obtidos no ensaio de tração são considerados muito bons, notando-se uma pequena anisotropia nos valores das propriedades longitudinais em relação com as transversais (figuras 7 e 8).

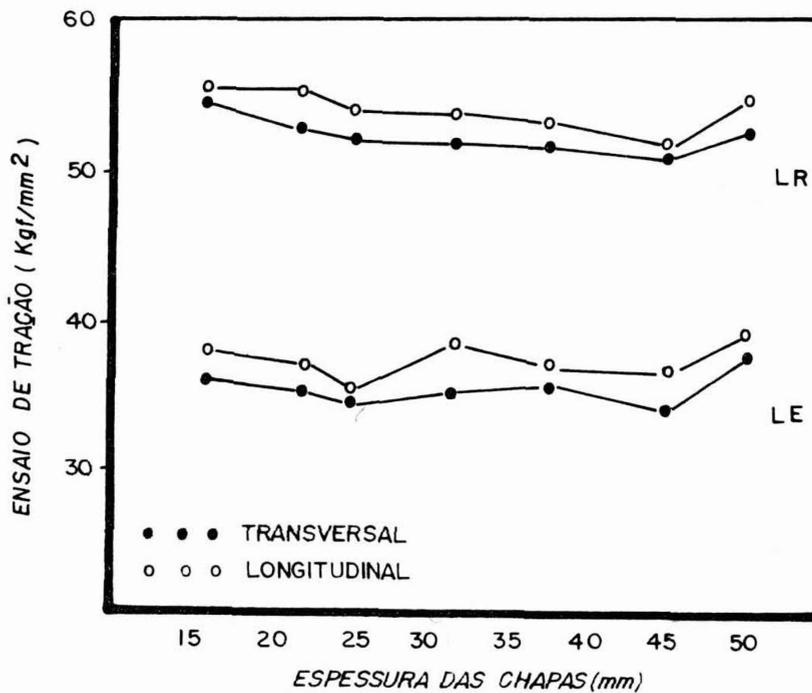


FIG. 07 - RESULTADOS DE LR E LE DO MATERIAL SOMENTE LAMINADO

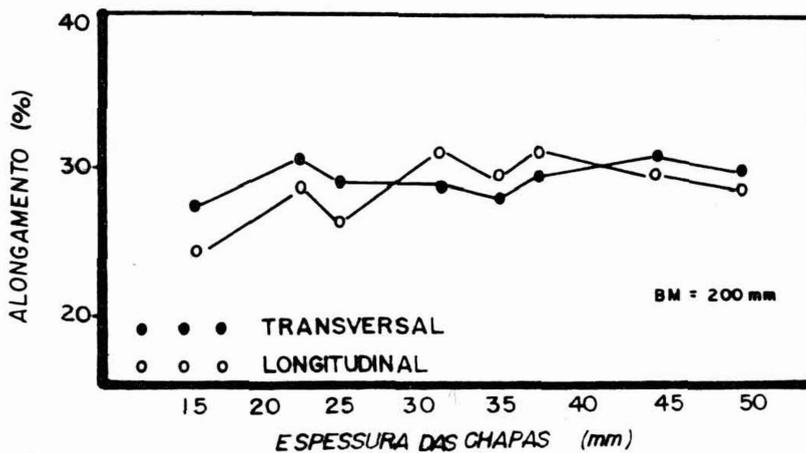


FIG. 08 - RESULTADO DE ALONGAMENTO DO MATERIAL SOMENTE LAMINADO.

6- Inclusões e Estrutura Metalográfica

Foi constatado na análise das inclusões a presença em pequena quantidade, de inclusões alongadas de sulfetos de manganês e pequena quantidade de óxidos com espessura bastante fina na subperifria e bem distribuídas no restante da espessura. A estrutura metalográfica do material somente laminado apresentou-se bastante alinhada e com tamanho de grão ferrítico predominante entre 8 e 9 ASTM. Nas figuras 11 e 12 é possível ver o que foi comentado.

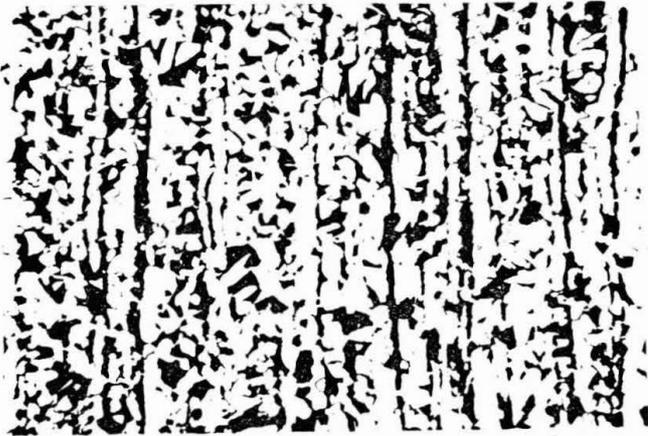


Fig.11- Estrutura metalográfica a 1/4 da espessura - 100 x



Fig.12- Estrutura metalográfica a 1/2 da espessura - 100 x

7- Baumann das Chapas Grossas

Os testes de Baumann realizados nas seções das chapas grossas permitem a visualização da segregação central que sem dúvida, é um indicador da qualidade interna e influi diretamente nas propriedades mecânicas. Nas figuras 13 e 14 correlaciona-se a classificação dos Baumanns com a resistência à tração e alongamento.

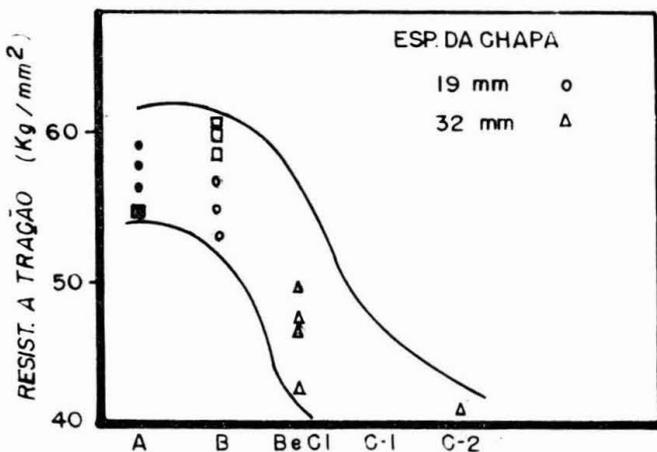


FIG.13 - CLASSIFICAÇÃO DE BAUMANN x RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

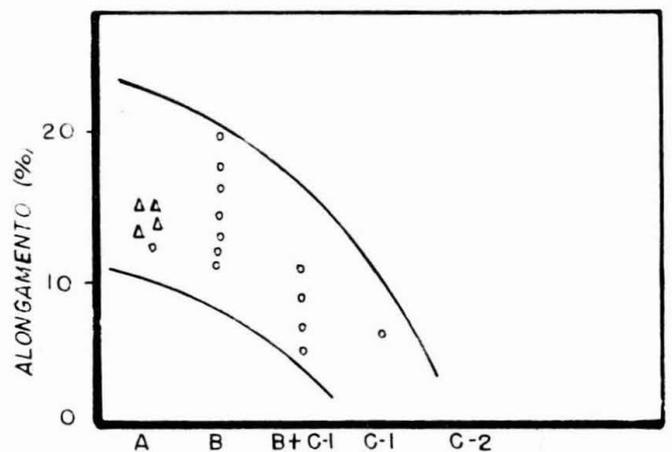


FIG.14 - CLASSIFICAÇÃO DE BAUMANN x ALONGAMENTO

Estudou-se também a distribuição dos valores das propriedades mecânicas obtidas das diversas corridas produzidas, nas várias espessuras (Fig. 09).

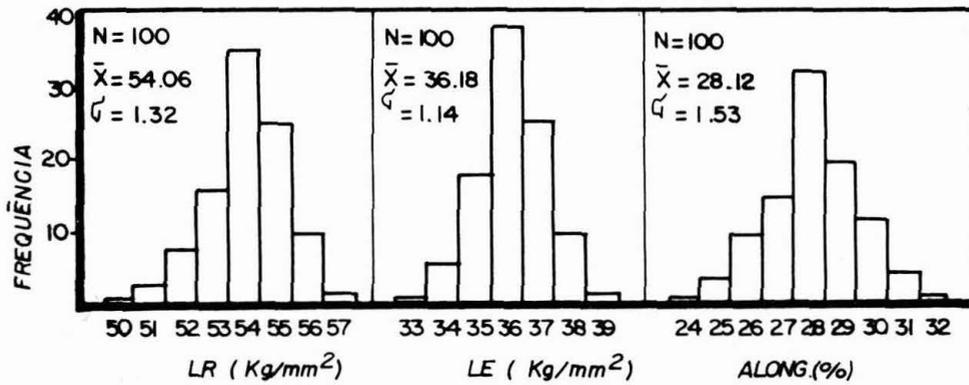


FIG.09 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DA PROPRIEDADES MECÂNICAS

-Dobramento

Conseguiu-se dobramento longitudinal e transversal a 180° em todas as espessuras até 0E. O método de ensaio utilizado foi de acordo com a Norma JIS-Z-2248.

-Curva de Transição

Com o objetivo de verificar a anisotropia do material, levantou-se as curvas de transição nos sentidos longitudinal e transversal (Fig 10). Esta heterogeneidade da tenacidade é devido principalmente a formação de inclusões alongadas de sulfetos de manganês.

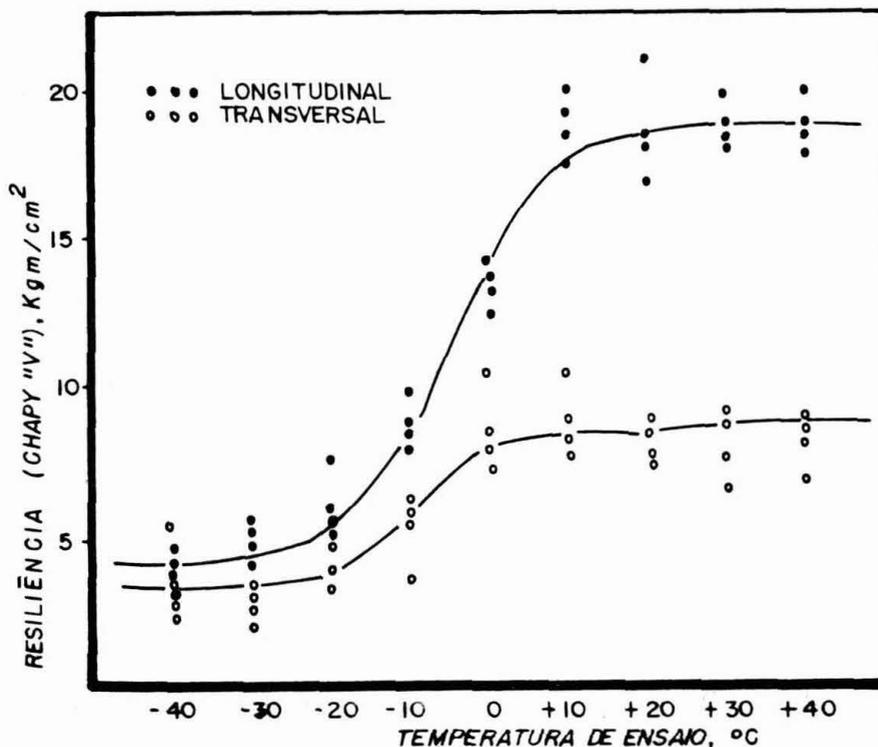


FIG.10 - ANISOTROPIA NA PROPRIEDADE DE IMPACTO DO MATERIAL SOMENTE LAMINADO (CHARPY V, 2mm)

Na figura seguinte correlaciona-se as classificações dos Baumanns de placas e chapas grossas.

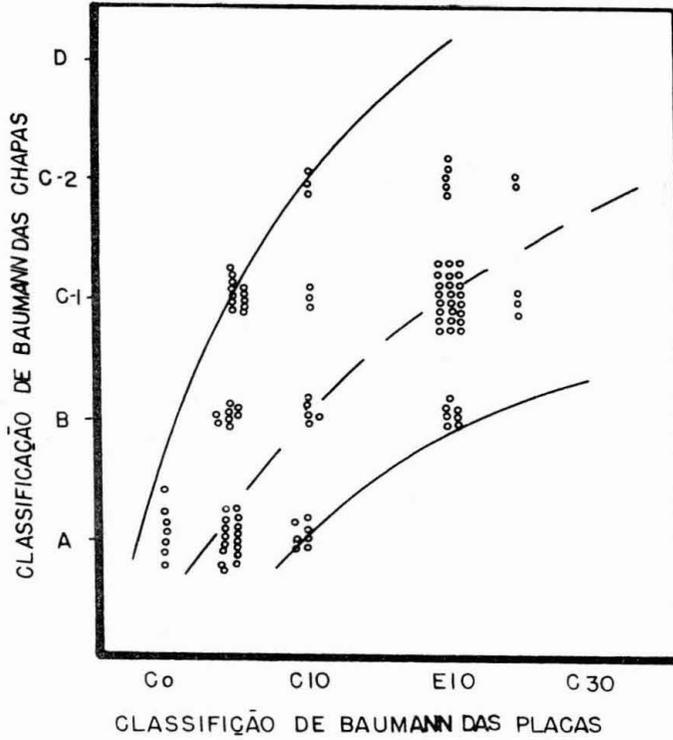


FIG.15 - RELACÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO DE BAUMANN DAS PLACAS E CHAPAS GROSSAS

Os resultados obtidos no período de experiência pode ser visto na figura 16.

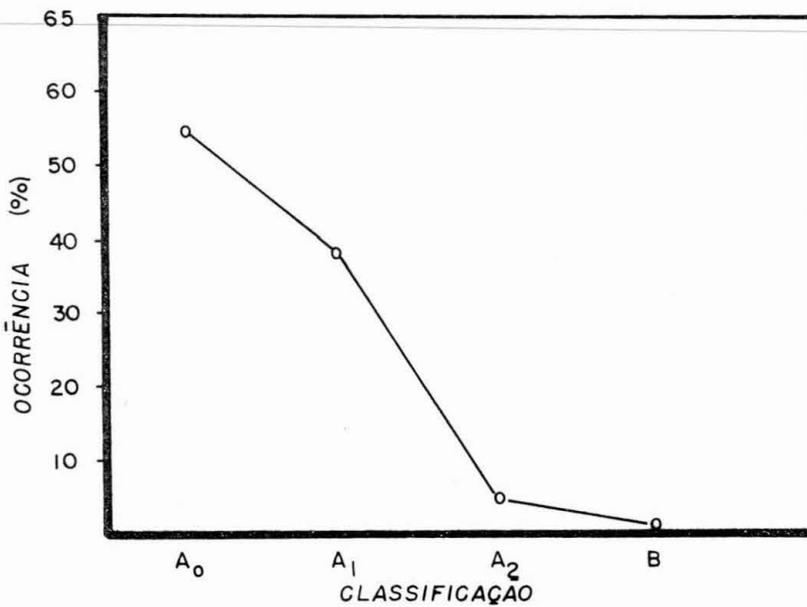


FIG. 16 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DE BAUMANN NO MATERIAL ESTUDADO

III - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a produção de aços de LR = 50 Kg/mm² a partir do lingotamento contínuo definiram a padronização da primeira qualidade testada, com espessura de chapas grossas máxima de 25 mm (aprovação de 100% no UST). As espessuras maiores continuam sendo produzidas pelo método convencional até que técnicas adicionais de lingotamento contínuo sejam adquiridas bem como se desenvolvam as condições operacionais relativas ao tratamento térmico.

Novas qualidades estão sendo estudadas e espera-se / para breve a padronização de outras qualidades produzidas pela USIMINAS.

BIBLIOGRAFIA

1. OZAKI K; Fabricação de aços de LR \geq 50 Kg/mm² no Lingotamento Contínuo - USIMINAS - Fevereiro 1978.
2. OZAKI K; Contra-medidas para evitar recusas em chapas grossas por propriedades mecânicas - USIMINAS - Março 1978.