

DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS DE LAMINAÇÃO VISANDO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE COM CONSEQUENTE GARANTIA DA QUALIDADE DE PRODUTOS CHAPAS GROSSAS DA COSIPA ¹

Aloísio Teixeira ²

Júlio Toshio Nakashima ³

Maurício Martins Pereira ³

Marco Antônio Nogueira Alves ⁴

Resumo

A otimização das práticas de laminação em uma linha de produção de chapas grossas com apenas uma cadeira de laminação é de extrema importância para a obtenção de um bom desempenho da produtividade e qualidade. Sendo o laminador o “gargalo” da linha de produção e responsável direto pela forma, superfície e dimensão do laminado, todos os esforços concentrados neste equipamento voltados ao aumento de produtividade e melhoria da qualidade promovem significativa redução dos custos de fabricação. O presente trabalho visa apresentar o desenvolvimento de esquemas de laminação e algumas melhorias nos equipamentos que foram desenvolvidas na Laminação de Chapas Grossas visando à otimização da etapa de alargamento do laminado e o aumento de produtividade de chapas destinadas à fabricação de maquinários agrícolas.

Palavras-chave: Laminação de chapas grossas; Produtividade; Qualidade

DEVELOPMENT OF ROLLING PRACTICES SEEKING INCREASE OF THE PRODUCTIVITY WITH WARRANTY OF THE QUALITY OF THE HEAVY PLATES OF COSIPA

Abstract

The optimization of the rolling practices in a line of production of plate mill with just a stand mill is of extreme importance for the obtaining of a good acting of the productivity and quality. Being the rolling mill the "bottleneck" of the production line and direct responsible for the form, surface and dimension of the plates, all of the concentrated efforts in this equipment returned to the productivity increase and incomes promote significant reduction of the production costs. The present work seeks to present the development of rolling schedules and some improvements in the equipments that were developed in the Heavy Plate Mill. That was to achieve the optimization of the stage of enlargement of the laminated and the increase of productivity of foils destined to the production of agricultural machines.

Key words: Plate mill rolling; Productivity; Quality.

¹ Trabalho apresentado no XIX Seminário Interno de Laminação da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão/SP;

² Sócio da ABM, Técnico Metalurgista – Assistente da Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão/SP;

³ Sócio da ABM, Engenheiro Metalurgista – Analista da Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão/SP;

⁴ Sócio da ABM, Técnico Metalurgista – Supervisor da Operação da Gerência de Laminação de Chapas Grossas da Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão/SP;

1 INTRODUÇÃO

O período após o final da década de 90 foi marcado por um grande número de trabalhos voltados a reconquistar o espaço no mercado perdido pela estagnação da economia brasileira e pelos avanços tecnológicos de empresas estrangeiras.

Na COSIPA não foi diferente. Havia a necessidade de aprimoramento das práticas operacionais, visando não só o aumento de produtividade, mas também assegurar a qualidade e principalmente o aumento nos rendimentos de laminação.

A laminação de chapas grossas é constituída por dois fornos de reaquecimento tipo “walking – beam” de chama direta e de apenas uma cadeira de laminação quadro – reversível que é responsável pelas funções de desbaste e acabamento do laminado, além de uma desempenadeira a quente no final de linha.

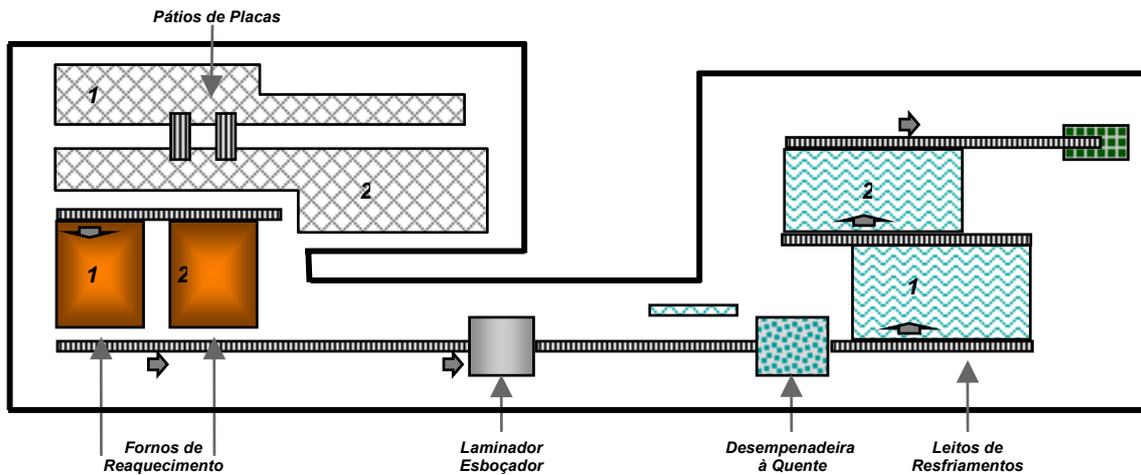


Figura 1. Lay out da linha de laminação da COSIPA

Em regime normal, com dois fornos em operação, o laminador é o “gargalo” de produção da linha. Sendo determinante para isso sua localização em relação aos fornos de reaquecimento que é de aproximadamente 50 metros.

1.1 Característica dos Equipamentos

- Fornos de Reaquecimento de Placas:

Fabricante	Tipo	Combustível	Produtividade (t/h)
Stein Surface	Walking Beam com Abóbada Radiante e Recuperador Cerâmico	COG/GN	2 x 130

- Laminador de Chapas Grossas:

Fabricante	Tipo	Mesa cilindro (mm)	Potência (kW)	Força(t)	Produtividade (t/h)
Mitsubishi	Quadro reversível	4100	2 x4500 - CC	8000	150

1.2 Característica do Produto

A capacidade instalada é capaz de produzir chapas de aço carbono, microligados para as seguintes aplicações:

- Estrutural Geral: edifícios, pontes, vagões, maquinários;
- Vasos de Pressão: caldeiras, flanges, vasos de pressão;
- Naval: navios, plataformas marítimas;
- Tubos de Grande Diâmetros: oleodutos, gasodutos.
-

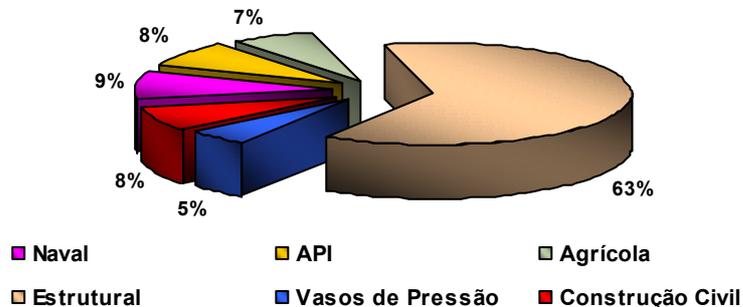


Figura 2. Mix de produtos – referência 2005

1.2 Fases do Processo de Laminação de Chapas Grossas

Após a etapa de aquecimento de placas cujas temperaturas chegam a 1200°C, em média, suficiente para sofrer deformação pelo laminador, inicia-se a laminação propriamente dita. Este processo pode ser dividido em 3 fases:

- *Fase de Desbaste:* consiste no passe inicial para ajuste de forma da placa oriunda do lingotamento contínuo ou convencional;
- *Fase de Alargamento:* consiste no aumento da largura da placa até a largura do produto, aplicando-se reduções no sentido transversal.
- *Fase de esboçamento/acabamento:* consiste nas reduções, a partir da etapa de alargamento visando o acerto de forma e espessura do laminado.

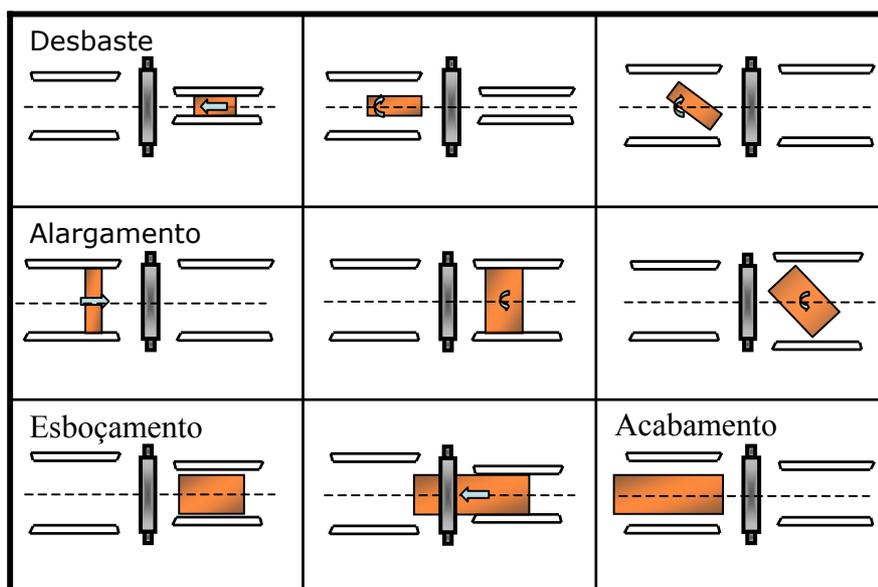


Figura 3. Fases de laminação de chapas grossas: laminação longitudinal

A etapa de alargamento e o esquema de descarepação para materiais com grande exigência de superfície são os que demandam maior tempo de laminação visto que

nesta fase a dimensão do esboço e a temperatura de acabamento são os fatores limitantes para redução.

A pretensão deste trabalho é sintetizar as modificações implementadas na laminação visando à redução da etapa de alargamento e também as modificações do processo de laminação de materiais destinados a implementos agrícolas com conseqüente ganho na tonelagem horária do laminador.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Otimização da Etapa de Alargamento

Devido ao grande range dimensional de produto são utilizadas placas padronizadas, sendo suas dimensões limitadas em função dos fornos de reaquecimento e comprimento total da linha de laminação.

Tabela 1. Dimensão de placas e esboço da laminação de chapas grossas

	Placa (mm)		Esboço (mm)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Espessura	120	300	6	150
Largura	1000	1900	1000	4100
Comprimento	2200	3650	2400	45000

2.1.1 Sentidos de laminação

Para atendimento às dimensões programadas do esboço podem ser utilizados basicamente três sentidos de laminação, considerando um índice de alargamento (IA*) máximo de 2,2, pois acima deste valor o esboço tende a acanoar devido perda de temperatura na fase de alargamento.

$$* IA = \frac{\text{Largura de esboço}}{\text{Largura de placa}} \leq 2,2$$

Laminação direta: a placa é laminada no sentido longitudinal, porém sem necessidade da etapa de alargamento.

Laminação longitudinal: a placa passa inicialmente pelo passe de ajuste de forma, os passes de alargamento e em seguida é laminada até as dimensões finais no sentido longitudinal.

Laminação transversal: todos os passes de redução são no sentido transversal. Em algumas condições, a placa ainda pode passar por uma etapa inicial de alargamento (*transversal com alargamento*).

Tabela 2. Quadro comparativo entre os sentidos de laminação

Sentido de laminação	Fase de alargamento	N.º de giros no esboço	N.º de passes de alargamento
Direta	Não há	0	0
Longitudinal	Sim	2	3 ~ 5
Transversal	Sim	1	0
Transversal com alargamento	Sim	3	3 ~ 4

Analisando o sistema de planejamento de placas e a prática operacional percebeu-se que em determinadas situações era possível à alteração do sentido de laminação original para o sentido transversal, otimizando assim a etapa de alargamento. Sendo isso somente viável quando o comprimento da placa fosse menor que a largura do produto.

Deste modo a placa passaria por um único passe de laminação para ajuste de forma e acerto de largura. Inicialmente foram consideradas para efeito de cálculo do primeiro passe as informações oriundas da Aciaria.

Notou-se que havia uma grande imprecisão do valor objetivado para o obtido na prática, pois as dimensões das placas possuíam tolerâncias que não eram levadas em consideração no cálculo.

$$\text{Espessura de Alargamento} = \frac{\text{Esp.Placa} * \text{Comp.Placa}}{\text{Larg.esboço}}$$

Exemplificando:

Dimensão <u>informada</u> da Placa (mm)			Dimensão do esboço (mm)		
Espessura	Largura	Comprimento	Espessura	Largura	Comprimento
210	1230	2500	25	2650	32000

Segundo a equação acima a espessura de alargamento prevista seria: 198 mm, porém o comprimento poderia estar na prática de 2500 a 2550 mm.

Dimensão <u>real</u> da Placa (mm)			Dimensão do esboço (mm)		
Espessura	Largura	Comprimento	Espessura	Largura	Comprimento
210	1230	2550	25	2650	32000

Utilizando-se da mesma equação, a espessura de alargamento passaria para 202 mm.

Devido a esta imprecisão ocorreram desvios por falta de comprimento, pois aplicando diretamente a equação com base nas dimensões informadas, a largura obtida estava acima da desejada. Passou-se então a estimar o comprimento da placa, considerando seu peso real, uma vez que a espessura e a largura do molde no lingotamento contínuo não possuem alterações tão significativas quanto no comprimento após o corte do esboço.

$$\text{Espessura de Alargamento} = \frac{\text{Peso de placa real} \times k}{\text{Larg.Placa} \times \text{Larg.Quente} \times \rho_{Fe}}$$

Onde k é o fator de compensação dilatométrica a uma dada temperatura e ρ_{Fe} é o peso específico do aço.

Após a implementação deste novo conceito, foi inserido como restrição da laminação transversal, as qualidades onde a linha de deformação junto com o sentido de lingotamento é importante para aplicação do material.

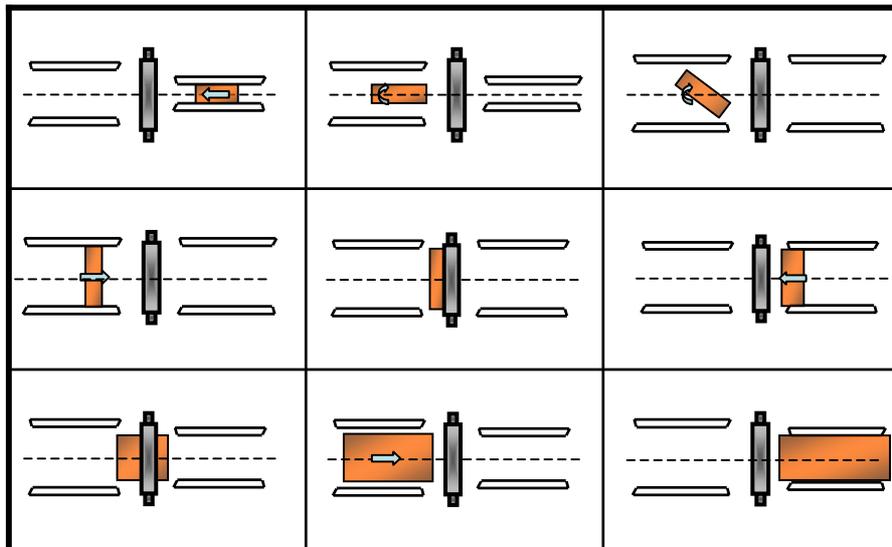


Figura 4. Laminação transversal após alteração do cálculo

Foi implantado no sistema de cálculo de laminação um critério de julgamento que de acordo com a largura da placa, seleciona-se o sentido de laminação mais favorável para a laminação.

Tabela 3. Critério de seleção do sentido de laminação

Largura de Placa (mm)	Alargamento (mm)	Sentido de laminação mais favorável
≤ 1400	600 ~ 1000	longitudinal
> 1400	800 ~ 1200	longitudinal
≤ 1400	> 1000	transversal
> 1400	> 1200	transversal
qualquer	≤ 60 mm	direta

2.1.2 Resultados obtidos com a alteração do sentido de laminação

- Aumento da produtividade do laminador em duas placas/hora devido diminuição de dois passes de alargamento;
- Melhor acerto da largura objetivada a quente com redução do desvio por falta de comprimento da última chapa do esboço;
- Melhor planicidade em material fino devido aumento de 20°C na temperatura de acabamento/desempeno;

2.2 Aumento da Produtividade pela Alteração do Processo de Laminação de Materiais Destinados a Implementos Agrícolas

A partir de 2002 através de incentivos financeiros oferecido pelo governo federal ao setor agrícola, houve conseqüente aumento da produção agrária gerando aumento na procura por insumos e maquinários. Dentre as características de qualidade exigidas por esse restrito mercado, o aspecto superficial das chapas grossas vem ganhando um destaque até então despercebido, pois as aplicações são em estruturas expostas dos maquinários.

As chapas são fornecidas aos clientes que as beneficiam sob a forma de blanks a serem aplicadas diretamente ao maquinário. Suas dimensões variam entre 6 e 80 mm de espessura, largura de 2440 mm e comprimento máximo de 6000 mm.

2.2.1 Histórico do desenvolvimento do produto na COSIPA

Em 1998 ocorreu a laminação das primeiras placas experimentais através de laminação convencional sem controle da temperatura de acabamento. As chapas obtidas apresentaram defeitos superficiais sob a forma de carepa incrustada. Em seguida iniciou-se o desenvolvimento de novos esquemas de laminação juntamente com melhorias no sistema de descarepação do laminador.

O esquema de laminação desenvolvido tinha como base para a eliminação da carepa secundária, o controle de temperatura de acabamento através de esquema de passes com descarepação. Porém tal esquema possuía uma produtividade muito aquém da necessidade do mercado.

Essa desvantagem decorre da necessidade de se obedecer a um período de espera para ajuste da temperatura do esboço entre as fases de acabamento e esboçamento. Neste ínterim, o material não pode sofrer deformação, o que implica na paralisação momentânea do equipamento por períodos de até quatro minutos, conforme a espessura do produto que estava sendo laminado.

2.2.2 Esquema de laminação

Tabela 4. Espessura de Espera x Temperaturas de laminação

Espessura Intermediária (mm)	Temperatura intermediária (°C)	Temperatura de Acabamento (°C)
2 a 3 x Esp.nom	860 ~ 820	780 ~ 820

Na espessura intermediária eram aplicados diversos passes de descarepação visando a remoção da carepa secundária e resfriamento do esboço para adequação da temperatura intermediária objetivada.

2.2.3 Experimento com novos esquemas de laminação

A princípio como existia um tempo “morto” para adequação da temperatura do esboço decidiu-se optar pela laminação em tandem já amplamente conhecida e utilizada na fabricação de produtos das qualidades Naval e API. Esse tipo de laminação se caracteriza pelo aproveitamento do período de espera de um dado esboço para se iniciar e/ou continuar o processamento de outro laminado. Desse modo, o laminador não mais fica ocioso durante os períodos de espera, aumentando significativamente sua produtividade.

Foram selecionados produtos de espessuras variáveis e de qualidade comum, porém ainda era necessário redefinir a espessura e temperatura da fase intermediária. Inicialmente foi utilizada a seguinte tabela:

Tabela 5. Espessura de Espera x Temperaturas de laminação x Procedimento de Descamação;

Espessura (mm)	EE (mm)	Tde (°C)	Ta (°C)	Passe com descarepação
< 30	3X Esp.Nom.	< 820	750 ~ 800	Todos na fase de acabamento
30 ~ 50	+ 10 Esp.Nom.			
> 50	+ 20 Esp.Nom.			

Na realidade, a alteração na espessura de espera implica numa alteração da

deformação total entre as fases de esboçamento e acabamento. Quando essa espessura é aumentada, ocorre diminuição na taxa de deformação aplicada durante o esboçamento, acompanhada do correspondente aumento no grau de deformação aplicado no acabamento.

Em contra partida quanto maior for a espessura de espera para um dado produto maior será o tempo na fase de espera favorecendo a formação de carepa secundária. Com objetivo de remoção dessas carepas foi necessária a introdução de um passe de descarepação antes do reinício da laminação, sem que o material sofresse redução.

O resultado da laminação com esse esquema foi desfavorável para produtos de espessura acima de 30 mm, apresentando carepa incrustada em grandes regiões ao longo da superfície da chapa, devido à baixa taxa de deformação a partir da espessura de espera. Foi então elevada a espessura de espera para essa faixa de produtos, onde se esperava que com o aumento da taxa de deformação na fase de acabamento com temperaturas mais baixas a carepa fosse removida. O segundo teste foi realizado sob a seguinte orientação:

Tabela 6. Espessura de Espera x Temperaturas de laminação x Procedimento de Descamação

Espessura (mm)	EE (mm)	Tde (°C)	Ta (°C)	Passe com descarepação
< 30	3X Esp.Nom.	< 840	780 ~ 840	Todos no acabamento
≥ 30	+ 50 Esp.Nom.			

O resultado da laminação com esse esquema foi dentro da expectativa sendo que nenhuma chapa apresentou carepa incrustada. Porém a tonelagem horária ainda não estava dentro de um conceito aceitável. Passou-se então a dar mais liberdade para operação em relação à quantidade de placas que estavam sendo laminadas por vez, sendo que na fase inicial havia-se limitado somente a uma placa na laminação em tandem.

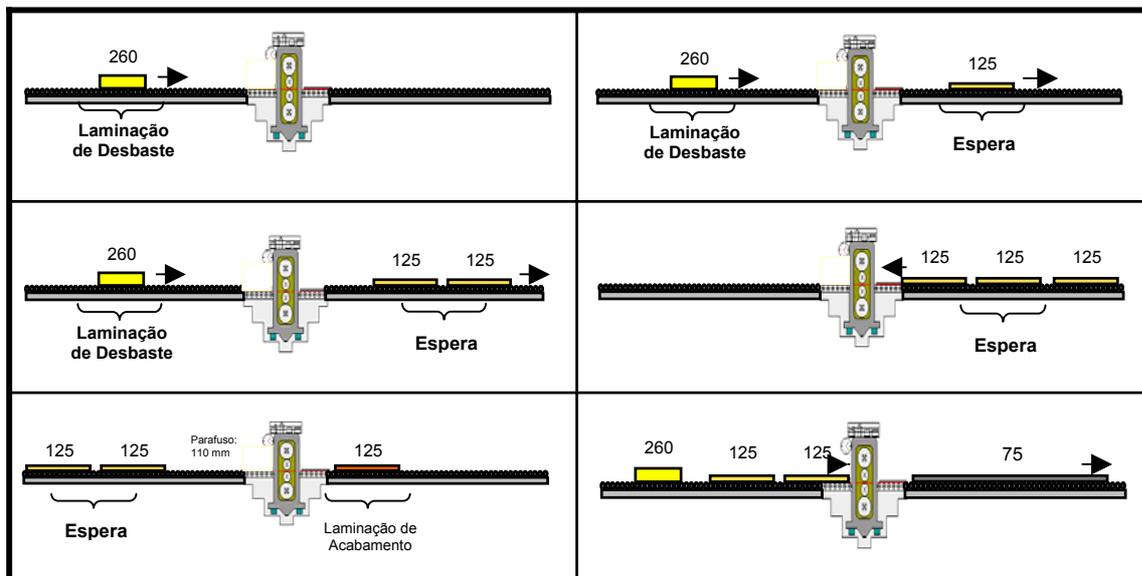


Figura 5. Laminação em tandem para um produto de 75 mm de espessura;

2.2.4 Otimização e manutenção nos equipamentos de descarepação da laminação

- **Bomba de descarepação**

Devido a desgastes de diversos componentes do conjunto girante das bombas de descarepação, a pressão ora especificada em 150 kgf/cm² chegou a patamares inferiores a 140 kgf/cm², promovendo uma sensível queda na força de impacto dos jatos na superfície do material.

Houve então a necessidade de manutenção desses conjuntos visando restabelecer as condições originais de projeto. Sendo as partes de vedação melhoradas com materiais de maior resistência ao desgaste. Com isso as pressões de trabalho aumentaram significativamente, atingindo valores acima da especificação do equipamento (em kgf/cm²).

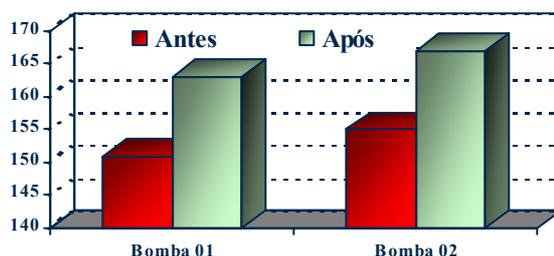


Figura 6. Pressão da Bomba de Descamação

- **Modificação do quebrador de carepas primário**

O descarepador possuía uma concepção desfavorável para remoção da carepa primária formada durante a fase de reaquecimento da placa. A distância de seus headers era demasiadamente alta e seu sentido era a favor do deslocamento da placa, projetando muitas vezes carepa no sentido do laminador. Possuía ainda bicos de descarepação antigos, cuja força de impacto não era suficiente para remoção total da carepa.

Sendo o limite para otimização do sistema a vazão da bomba de descarepação foram implementadas mudanças no equipamento, tendo como maior objetivo a aumento da força de impacto dos jatos de descarepação sobre a superfície da placa. O header superior foi rebaixado, o sentido de descarepação invertido para o lado de entrada do equipamento, foi adicionado um maior número de bicos e modificado seu modelo para alto impacto.

Tabela 7. Tabela comparativa com o ganho na força de impacto após a alteração

Itens		Superior	Inferior
Projeto original	Altura (mm)	370	300
	Impacto (kgf/mm ²)	1,77	2,41
Projeto alterado	Altura (mm)	240	290
	Impacto (kgf/mm ²)	2,18	2,96
Ganho (%)		23,1	22,8

2.2.5 Resultados obtidos com a alteração do esquema de laminação e as melhorias no sistema de descarepação

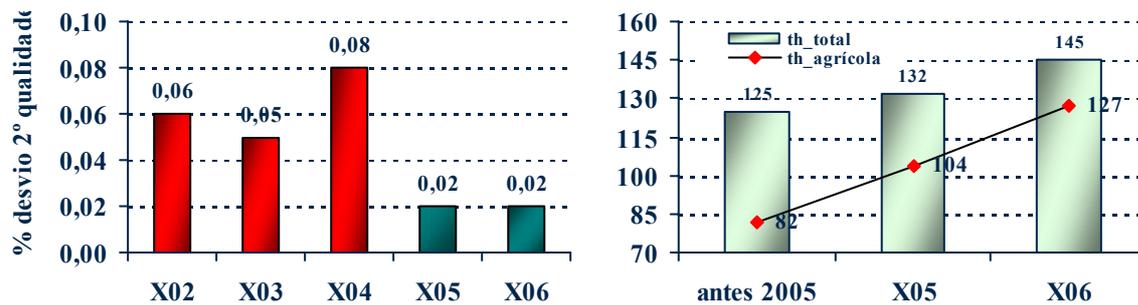


Figura 7. Resultados de qualidade e produtividade

No gráfico à esquerda a redução dos desvios de 2º qualidade por carepa nas chapas grossas e a direita a evolução da produtividade do material destinado a máquinas agrícolas.

3 CONCLUSÕES

- A otimização dos equipamentos de descarepação da laminação, principalmente a modificação do projeto do Quebrador de Carepas primário foi a base para as alterações dos esquemas de laminação;
- O aumento do grau de deformação total (placa → esboço) junto com a introdução de um passe de descarepação, sem redução, antes do reinício da laminação é de vital importância para obtenção de uma superfície isenta de defeitos, devido à remoção da carepa secundária formada durante a fase intermediária;
- A introdução da laminação em TANDEM para os produtos destinados a maquinários agrícolas além do aumento da produtividade proporcionou melhor uniformidade das propriedades mecânicas, devido maior precisão de acerto da temperatura de acabamento;
- A redução da quantidade de passes de alargamento com a intensificação da laminação transversal promoveu além do aumento de produtividade, aumento da temperatura de acabamento com conseqüente melhoria da planicidade, principalmente para materiais de espessura fina.

REFERÊNCIAS

- 1 GORNI, A.A., REIS, J.S.S., SILVA, C.N.P. & CAVALCANTI, C.G. *Efeito da alteração na espessura de espera durante a laminação controlada*. In: 50º CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, São Pedro, Agosto de 1995.
- 2 PEREIRA, M.M. MORAES, D.M. & SILVA, M.O. *Relatório de Estágio Técnico no Japão – Usina de Kimitsu. Principais causas do defeito empeno lateral*. Abril de 2003.
- 3 MAEDA, H. *Relatório de Transferência de Tecnologia na COSIPA. Causas e contra medidas objetivando a estabilidade do laminador*. Outubro de 2003.