

GARANTIA DA QUALIDADE ATRAVÉS DA EVOLUÇÃO DO PROCESSO NO LAMINADOR DE TIRAS A FRIO DA COSIPA¹

Mateus Alexandre da Silva²
Carlos Thadeu de Ávila Pires³
Maurício de Freitas Giovannetti⁴
Marcelo Magalhães Pereira⁵
Karl Kristian Bagger⁶

Resumo

Diante de um mercado cada vez mais competitivo e da busca contínua pela redução dos custos de produção, foi desenvolvido o presente estudo visando melhoria nos atributos do produto através da evolução do processo no LTF, buscando adquirir maior estabilidade, aumento de produtividade e maior valor agregado em nossos produtos. Considerando dois dos principais atributos de nossos produtos – acerto de espessura e qualidade superficial, utilizou-se uma nova metodologia para o cálculo de espessura intermediária na laminação a frio e foram estabelecidos novos ajustes de parâmetros operacionais para eliminação de defeitos caracterizados como “marcas de atrito” e “marcas de derrapada” na superfície da tira laminada. Como resultado, observou-se o impacto da modificação do cálculo de espessura nas linhas finais de inspeção através da evolução dos indicadores de performance de espessura, tendo sido observado também a efetividade dos ajustes nas variáveis de processo, por meio da redução das ocorrências de marcas superficiais no laminador.

Palavras-chave: Laminador de tiras a frio; Espessura; Arco de contato; Atrito.

QUALITY ASSURANCE THROUGH OF EVOLUTION OF COSIPA'S TANDEM COLD MILL PROCESS

Abstract

Owing to an increasing competitive market and to the continuous search for process cost reduction, this paper was developed aiming the improvement of the product attribute through the evolution of tandem cold mill process, searching for more stability, increased productivity and more added value of our products. Considering the two main attributes of our products – thickness accuracy and surface quality, a new method was developed for determining of intermediate thickness in the cold rolling mill and new set-up parameters was also set intending the elimination of defects characterised as “Scratch” and “Skidding” in the surface of rolled strip. As a result of this work, the impact of new thickness calculation in the inspection lines was observed through of the evolution of thickness performing index. Furthermore, it was also studied the effectiveness of the thermal analysis study in the arc of contact, according to the set-up of the process variables and the reduction of occurrences of surface marks in the rolling mill.

Key words: Tandem cold mill; Thickness; Arc of contact; Friction.

¹ Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 17 a 20 de outubro de 2006 – Curitiba - PR – Brasil.

² Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Analista de operação da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista-Cosipa, Cubatão SP.

³ Sócio da A.B.M. Engenheiro Eletricista, M.Sc., Analista de operação da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista-Cosipa, Cubatão SP.

⁴ Sócio da A.B.M. Engenheiro Eletricista, Analista de manutenção da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista-Cosipa, Cubatão SP.

⁵ Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Gerente do Laminador de Tiras a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista-Cosipa, Cubatão SP.

⁶ Sócio da A.B.M. Engenheiro Metalurgista, Gerente do Suporte Técnico da Laminação a Frio da Companhia Siderúrgica Paulista-Cosipa, Cubatão SP.

1 INTRODUÇÃO

Mercados cada vez mais competitivos exigem busca contínua pela redução dos custos de produção. Neste contexto foi desenvolvido o presente trabalho visando melhoria nos atributos do produto através da evolução do processo no LTF, buscando adquirir maior estabilidade, maior produtividade e maior valor agregado em nossos produtos.

Apesar do processo de laminação se encontrar estável, a observação cuidadosa dos principais indicadores de qualidade, produtividade e custo do laminador, possibilitou a constatação da existência de eventuais ocorrências de desvios de espessura e marcas de cilindros chamadas de “marcas de atrito” e “marcas de derrapada”. Após análise do histórico destas ocorrências, constatamos a necessidade de se otimizar alguns indicadores através de melhorias no processo de laminação.

2 METODOLOGIA

Analisados os principais atributos de processo contribuintes para os indicadores, foram selecionados os atributos de espessura e de qualidade superficial para estudo e melhorias nas condições de processo. O objetivo destas melhorias era minimizar os desvios e descartes por marcas de cilindros e variação excessiva de espessura. Para isto, foram utilizados um novo cálculo para determinação da espessura nominal no laminador de tiras a frio e estudos para encontrar as causas das ocorrências de marcas de cilindros.

3 ESPESSURA

Durante o ano de 2005, foram verificados desvios nas linhas finais por variação de espessura em determinadas dimensões de tiras laminadas a frio. Estas variações de espessura eram sempre detectadas nas bordas da tira e abaixo da tolerância mínima solicitada pelo cliente.

Estes desvios aumentaram significativamente devido ao fato do mercado estar exigindo tolerâncias cada vez mais restritas – até 30% da norma ASTM A568 (referência) para espessuras maiores que 2,00mm e também devido à própria variação de espessura ao longo da largura, o que chamamos de coroa mecânica da tira.

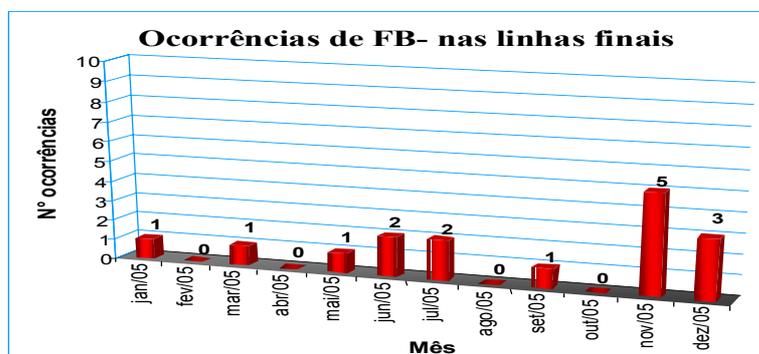


Figura 1. Ocorrências de desvios de materiais devido FB-.

O cálculo anteriormente utilizado para determinação de espessura nominal para o LTF era obtido levando-se em consideração um valor padrão tabelado de incremento de espessura (dados históricos de taxa de alongamento) e não considerava a variação de espessura no sentido transversal (coroa mecânica da tira). Em função disto, a variação de coroa inerente ao processo de laminação a quente – em relação aos valores tabelados - resultaria em variação de espessura nas linhas finais de processo da laminação a frio, apesar do controle de espessura longitudinal do LTF permanecer dentro de variações permissíveis do pedido.

A partir da metodologia anterior, passou-se a considerar no cálculo o valor médio de alongamento do pedido e também o valor de coroa média do material laminado a quente.

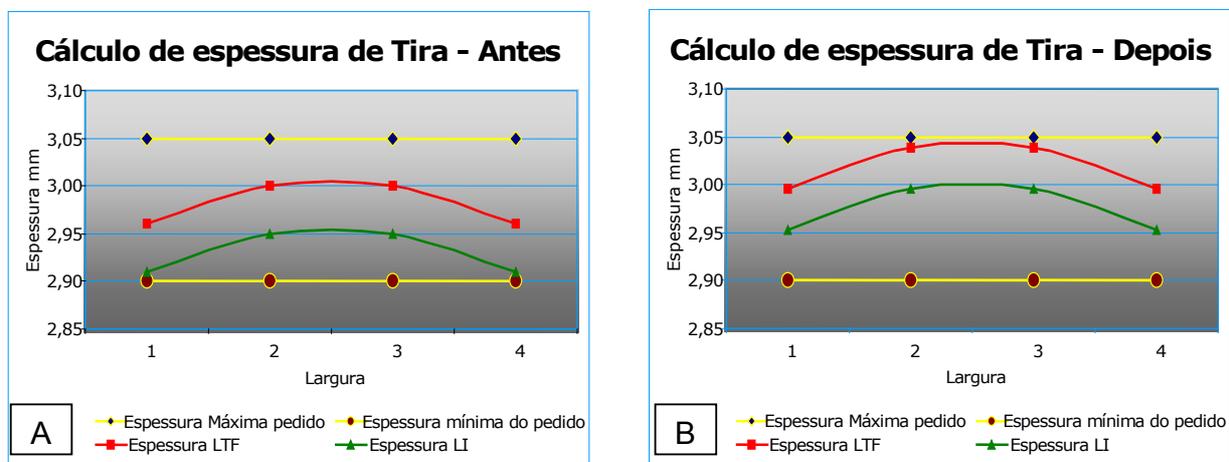


Figura 2. Cálculo de espessura A) antes e B) depois

Com isso, passou-se a objetivar a espessura nominal do LTF próximo à máxima para obtermos uma espessura final próxima à média da tolerância solicitada pelo cliente.

4 MARCAS DE CILINDROS

No processo de laminação, uns dos principais defeitos que contribuem para a degradação da qualidade da tira são as marcas de cilindros causados por encaixe ou desencaixe deficiente, por excesso ou falta de lubrificação, entre outros.

Verificou-se nos últimos anos um aumento no número de ocorrências de trocas de cilindros por marcas chamadas de “marcas de atrito” e “marcas de derrapada” geradas nas cadeiras 2 e 3, conforme Figura 3:

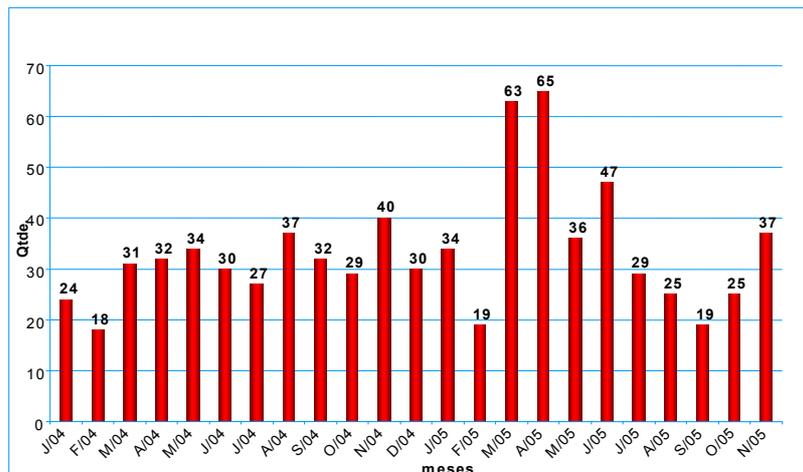


Figura 3. ocorrências de trocas de cilindros por marcas de atrito e derrapada.

Marcas de atrito são caracterizadas como riscos esparsos que aparecem ao longo da mesa do cilindro e marcas de derrapada se manifestam como riscos contínuos ao longo da mesa do cilindro, conforme mostrado nas Figuras 4A e 4B.

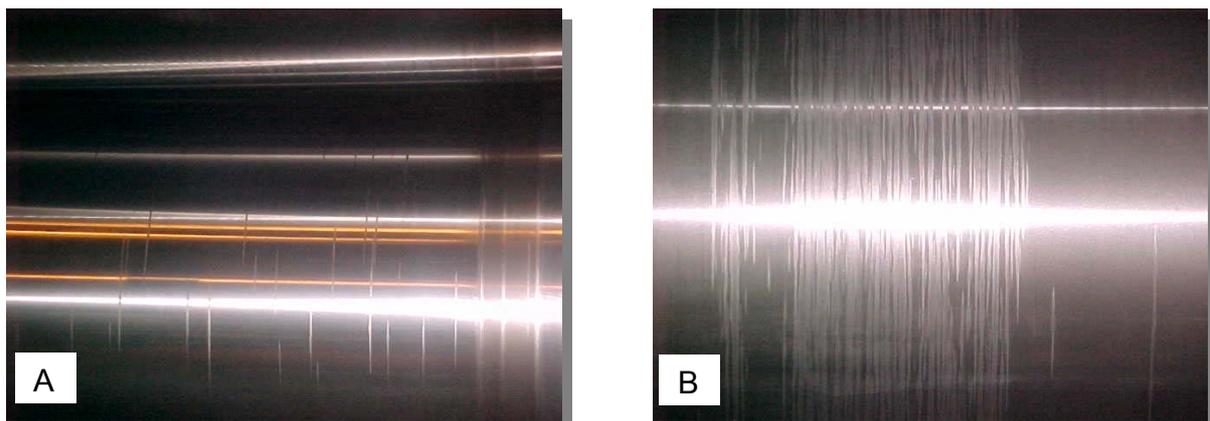


Figura 4. A) Marcas de atrito e B) Marcas de derrapada

5 ATRITO

A Figura 5 mostra a região denominada de região de deformação, onde inicialmente a tira sofre deformação elástica (zona I) até que o nível de tensão desenvolvido seja suficiente para provocar deformação plástica permanente (zona II). Na região de entrada, a velocidade da tira é inferior à velocidade periférica do cilindro. À medida que a tira é reduzida, sua velocidade aumenta em função da necessidade de se manter constante a vazão de material, tornando-se igual à velocidade periférica do cilindro na posição identificada como ponto neutro. Após este ponto, a velocidade da tira passa a ser maior que a velocidade dos cilindros.

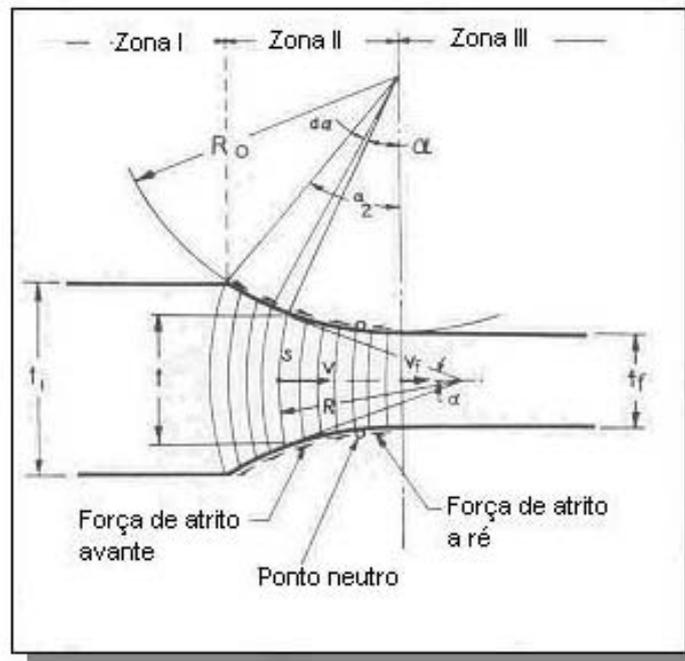


Figura 5. Região de deformação.

De acordo com Yuen, Popelianski e Prouten,⁽¹⁾ o atrito é uma das variáveis menos conhecida e freqüentemente não muito bem controlada durante a laminação. O controle preciso do atrito é essencial a fim de atingir condições ótimas de laminação. Atrito excessivo ou insuficiente são prejudiciais para a operação de laminadores.

Analisando-se o processo, foi verificado que as marcas de atrito eram geradas principalmente devido ao rompimento do filme de óleo na região do arco de contato, causado por baixa eficiência de lubrificação e elevada temperatura na região de deformação.

A figura abaixo mostra início da propagação da chamada marca de atrito provocada pelas condições descritas acima.

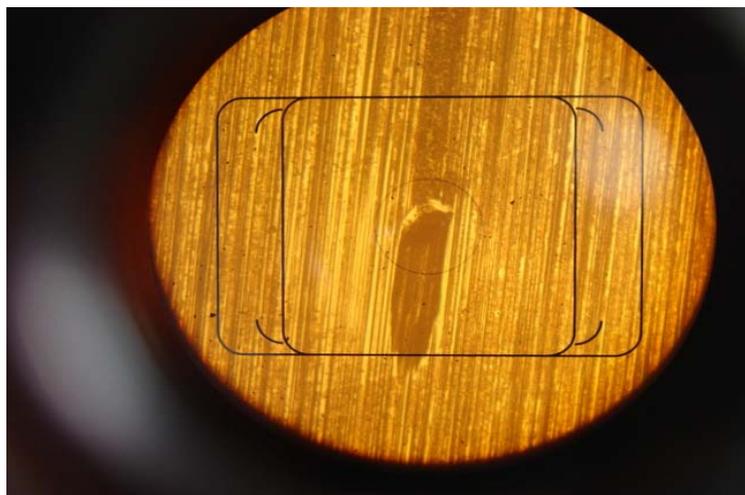


Figura 6. Foto do início da marca de atrito

6 DERRAPADA

Durante o processo de laminação, à medida que o ponto neutro se desloca para a posição de saída da região de deformação, fica caracterizado que não existe tração suficiente para puxar a tira através do arco de contato, fazendo com que os cilindros deslizem sobre a tira, ocasionando as marcas denominadas derrapadas (skidding). A figura abaixo mostra uma foto da marca de derrapada estampada na tira, ampliada em laboratório.

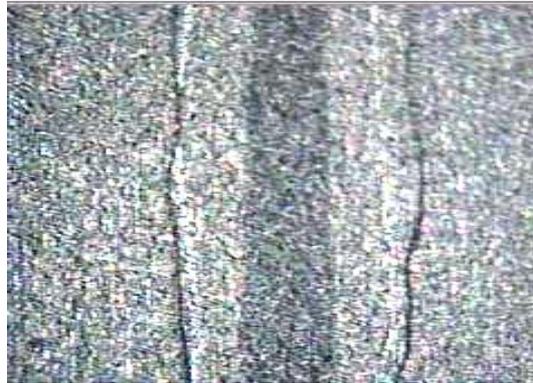


Figura 7. Foto da marca de derrapada na tira laminada.

7 DESENVOLVIMENTO

7.1 Verificação e Correção da Temperatura do Arco de Contato

Após estudos do comportamento das variáveis de processo na região de deformação, foi constatado que à medida que o atrito aumentava, havia um aumento nas forças de laminação e altas temperaturas passavam a predominar no arco de contato, fazendo com que houvesse a quebra do filme de óleo entre a tira e os cilindros devido ao processo de destilação do óleo de laminação nestas temperaturas (maiores que 160°C). Para a verificação das condições de temperatura do arco de contato, foram feitas simulações empregando um modelo térmico⁽²⁾ que determina as temperaturas nas regiões de deformação, através de parâmetros da tira e do processo. A Figura 8 mostra os resultados encontrados após simulação em material considerado crítico em termos de redução e velocidade de laminação.

MODULO DE TEMPERATURA DA TIRA - LTF COSIPA

DADOS DE PROCESSO

Largura(mm)	Espessura (mm)	Força (T)		Velocidade Vão (mpm)		Diâmetro Deformado(mm)		Vão (mm)
1004	Ent	1,98						4013
	Cad.1	1,148	Cad.1	911	1/2	397,8	Cad.1	594
	Cad.2	0,688	Cad.2	845	2/3	664,1	Cad.2	673
	Cad.3	0,468	Cad.3	860	3/4	974,7	Cad.3	836
	Cad.4	0,46	Cad.4	1010	4/E	992,7	Cad.4	6277

RESUMO DOS RESULTADOS

Entrada	Cadeira 1	Vão 1/2	Cadeira 2	Vão 2/3	Cadeira 3	Vão 3/4	Cadeira 4	Vão 4/E
25	95,24	63,2	140,47	79,5	156,34	85,2	92,82	71,9

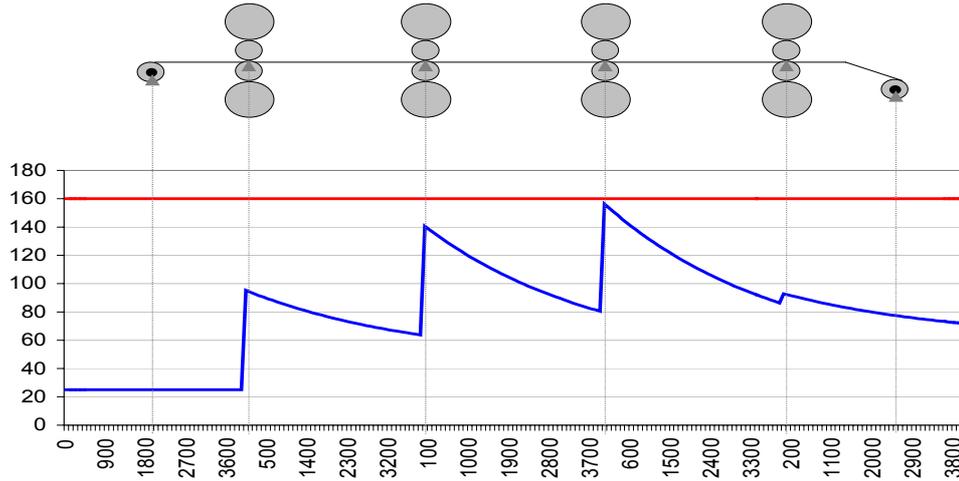


Figura 8. Modelo de temperatura

Verificou-se também o perfil térmico da tira através de medições termográficas para checagem do índice de acerto do modelo, conforme Figura 9:

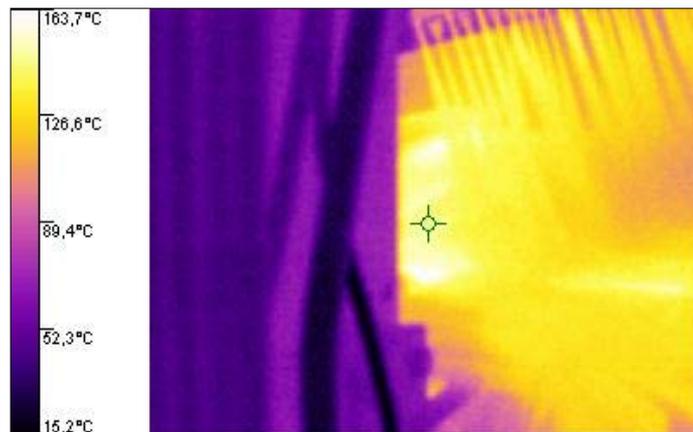


Figura 9. Foto do perfil térmico da tira.

Após constatação de casos críticos em que a tira se encontrava com temperaturas próximas à temperatura limite da emulsão, determinamos novos valores de carregamento dos motores com o objetivo de melhor distribuição de potência e reduções.⁽³⁾ Desta forma foi reduzido o carregamento da cadeira 3 e conseqüentemente

a temperatura no arco de contato desta cadeira, em função de sua condição mais crítica em termos de temperatura.

Considerando a importância do atrito nas condições de laminação, foram realizadas modificações nas faixas de rugosidade dos cilindros, determinando valores mínimos (só existiam limites superiores) para as cadeiras 2 e 3 de forma a garantir atrito mínimo necessário para as condições de processo. Esta ação fez com que o ângulo neutro passasse a ser monitorado, garantindo a sua localização dentro da região de deformação. A rugosidade dos cilindros passou a ser controlada conforme a tabela abaixo.

Tabela 1. Valores médios da faixa de rugosidade das cadeiras de laminação.

Cadeiras	Cadeira 1	Cadeira 2	Cadeira 3	Cadeira 4
Rugosidade	1,1	0,5	0,5	4,7

Ajuste de tensão

Verificou-se que, durante o processo de laminação para os materiais considerados críticos, o escorregamento das cadeiras se encontrada em valores considerados elevados, o que possibilitava o ângulo neutro se posicionar fora da região de deformação. Como ação, foi redimensionada a tabela de tensão entre vãos de forma a garantir as condições necessárias à laminação, reduzindo a tensão do vão 1/2 em 5% e a tensão do vão 2/3 em 15% para os materiais com reduções acima de 60%.

A Tabela 2 mostra os valores médios de tensões estabelecidos para cada vão entre cadeiras do laminador.

Tabela 2. Tabela de valores médios de tensão entre vãos.

Nível	5	6	7	8	9
Vão	nsão (kg/mm ²)	Tensão (kg/mm ²)			
1/2	9,9	11,3	12,6	13,7	14,2
2/3	13,6	16,2	18,4	20,6	21,4
3/4	14,8	18,5	21,0	21,9	23,1

8 RESULTADOS

Após a implantação da modificação do cálculo de espessura intermediária no LTF, levando-se em consideração a coroa da tira laminada a quente e o alongamento médio do pedido, eliminamos por completo as ocorrências de desvios de espessura nas bordas da tira por espessura abaixo da tolerância mínima do pedido.

Conforme Figura 10, verificamos uma redução significativa nas trocas de cilindros por marcas de derrapadas e marcas de atrito após os ajustes nos parâmetros de carregamentos dos motores, rugosidade dos cilindros de trabalho e adequação das tensões aplicadas entre cadeiras do laminador.

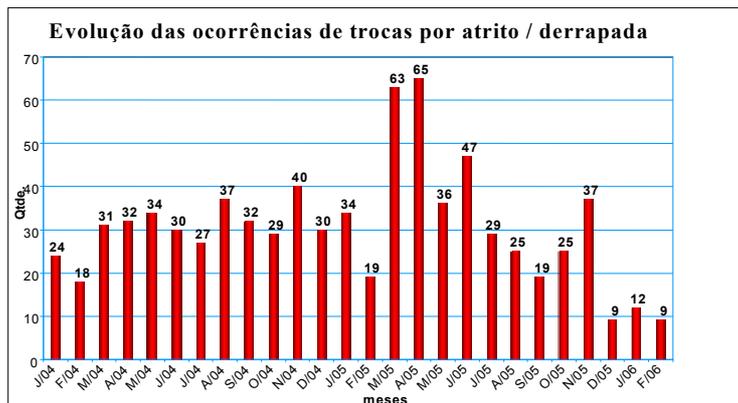


Figura 10. Evolução das ocorrências de trocas de cilindros por derrapada.

9 CONCLUSÕES

Após a modificação do cálculo de espessura intermediária no LTF, foram observados o impacto nos indicadores de espessura e eliminados por completo os desvios de espessura por material abaixo da tolerância mínima exigida pelo cliente nas bordas da tira.

Após a verificação do comportamento das temperaturas nas cadeiras e nos vãos do laminador e modificações nos carregamentos dos motores, houve uma redução em torno de 20% na temperatura da cadeira 3, reduzindo significativamente as ocorrências de marcas de atrito nesta cadeira.

Observou-se uma redução significativa nas trocas de cilindros devido marcas de derrapada após as modificações e adequações dos parâmetros de rugosidade e tensões entre vãos do laminador.

O trabalho nos propiciou adquirir maior conhecimento da influência das variáveis do processo sobre a região de deformação, possibilitando ganhos significativos na melhoria da qualidade superficial da tira, no aumento da produtividade e redução de custos.

REFERÊNCIAS

- 1 Yuen W.Y.D. ; Popelianski, Y. ; Prouten, M. – Variations of friction in the roll bite and their effects on cold strip. 37TH MWSP Conf. Proc., ISS, Vol. XXXIII, 1996, p. 47 – 54.
- 2 Ávila, A. F. – Otimização da produtividade de um Laminador Tandem a Frio. Tese de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte, Novembro de 1988.
- 3 Pires, C.T.A.; Ferreira, H.C.; Sales, R.M.; Silva, M.A. – Set-up optimisation for tandem cold mills: A case study. Journal of Materials Processing Technology, May/2006.