

AJUSTE DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO DO GRAU EXTRA LOW CARBON UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE LATAS EXPANDIDAS, ATRAVÉS DO GERENCIAMENTO DA ROTINA ¹

*Willian Costa do Nascimento*²

*Eduardo Amorim Motta*³

*Alexandre Lorandes*⁴

*Ulisses Rocha Gomes*⁵

*Alexandre Vieira Telles*⁶

Resumo

O presente trabalho visa mostrar os resultados da padronização de parâmetros de laminação, que influenciam diretamente na redução da ocorrência do fenômeno “*chatter*” durante o processo. Estes parâmetros, necessários a uma equalização do processo de laminação, foram explorados através de estudo e aplicação de planejamento de experimento realizado pela CSN em conjunto com a empresa SKF. É também mostrada neste trabalho a interação dos parâmetros de laminação em busca da melhor combinação para obtenção de resultados ótimos no processo, voltados para melhoria da uniformidade da espessura do material laminado, da redução de ocorrência de “*chatter*” durante o processo de laminação e na redução de reclamação de cliente devido ao rompimento do material oriundo de problemas relacionados com a variação brusca de sua espessura relacionada com a ocorrência de *chatter* de 3ª oitava.

Palavras-chave: *Chatter*; Laminação.

SETTLING OF COLD ROLLING PROCESS OF THE GRADE EXTRA LOW CARBON USED IN THE FABRICATION IN THE EXPANSION TIN CAN, THROUGH ROUTINE MANAGEMENT

Abstract

This paper show us the results of standard of the rolling parameter, that influence in the reduction of the chatter during process. This parameters are necessary to improved of the rolling process, was describe through of study and application DOE (Design Of Experiment) realized by CSN and company SKF together. Is shown in this paper the interaction of the rolling parameters with goal to get the better combination results, to improve the trend thickness of the rolled material, to reduce the chatter during rolling process and to reduce customer complain due the breaking of material comes from problems with thickness variation caused by third octave chatter.

Key words: Chatter; Rolling.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Galinhas - PE*

² *Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Desenvolvimento da Gerência de Processos de laminação - Companhia Siderúrgica Nacional – CSN.*

³ *Engenheiro Metalúrgico, MSc Engenheiro de Processo da Gerência Geral de Folhas Metálicas Companhia Siderúrgica Nacional – CSN.*

⁴ *Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Processo da Gerência de Laminação a Frio Companhia Siderúrgica Nacional – CSN.*

⁵ *Engenheiro Metalúrgico, MSc. Coordenador técnico da Gerência Geral de Produtos Longos - Companhia Siderúrgica Nacional – CSN.*

⁶ *Técnico Eletromecânico, Técnico de Processo da Gerência de Laminação a Frio - Companhia Siderúrgica Nacional.*

1 INTRODUÇÃO

O produto lata expandida é largamente utilizado no mercado europeu e americano sendo lançada no Brasil em meados de 2002. Este tipo de embalagem apresenta formatos diferenciados obtidos pelo alto grau de deformação ao qual o material é submetido, sendo assim exigido ao material um alto nível de estampabilidade necessário ao processo de fabricação da lata, podendo o formato adquirido pelo material ser de exclusividade de um fabricante.

Devido ao alto grau de estampabilidade exigido ao produto, a uniformidade da espessura do material ao longo de todo o seu comprimento é de suma importância para que, durante o processo de expansão da lata não haja concentração localizada de tensão, ocorrendo assim o rompimento do material em posições fora da solda conforme mostrado nas Figuras 1 e 2, causando perdas de material e de produtividade no cliente.



Figura 1 - Face interior da lata após seu processo de expansão



Figura 2 - Face exterior da lata rompida após seu processo de expansão

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Através da análise investigativa e estratificações realizadas com os dados recebidos do cliente, determinaram-se as possíveis causas que levaram ao rompimento do material durante a fabricação da lata expandida. Esta ocorrência tendo como consequência uma variação brusca e localizada da espessura do material causa o rompimento da lata durante o seu processo de expansão, sendo assim caracterizado o fenômeno *chatter* como sendo o responsável pela não conformidade atribuída à ocorrência da variação de espessura do material.

O grau *extra low carbon* devido a sua composição química conforme mostrado na Tabela 1 em comparação com o grau *low carbon*, possui um processo de laminação a frio bastante crítico com baixas cargas de laminação necessárias para sua conformação conforme Figura 3. Esta situação crítica de processo nos leva

a uma processo de laminação onde as cargas atingem valores abaixo da região de cedagem do laminador, atingindo esta a região “mole” da cadeira onde há folgas relativamente grosseiras a serem eliminadas, o que torna a cedagem da cadeira maior que a normal.⁽¹⁾

Para o caso onde haja uma aproximação ou até mesmo coincidência entre a frequência natural do equipamento e as frequências de processo, haverá um crescimento no nível vibracional do equipamento, provocando assim o fenômeno de ressonância. Em sistemas mais complexos, ou seja, a ocorrência de mais de uma frequência natural, existem várias chances de aumento do nível vibracional do equipamento através da ocorrência da ressonância, aumentando a probabilidade de ocorrência de *chatter* de 3ª oitava durante o processo de laminação.

Tabela 1 – Composição química do grau extra low carbon e low carbon

	<i>Extra low carbon</i>		<i>Low carbon</i>	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C	0,018	0,024	0,03	0,05
Mn	0,1	0,2	0,25	0,35
P	0	0,02	0	0,02
S	0	0,02	0	0,025
Si	0	0,02	0	0,02
Cu	0	0,06	0	0,06
Ni	0	0,04	0	0,04
Cr	0	0,04	0	0,06
Mo	0	0	0	0,02
Sn	0	0,02	0	0,02
Al	0,02	0,06	0,02	0,05
N	0,0015	0,005	0	0,006
Ti	0	0,005	0	0,005
Nb	0	0,005	0	0,005
V	0	0	0	0,008
B	0	0,005	0	0,0008

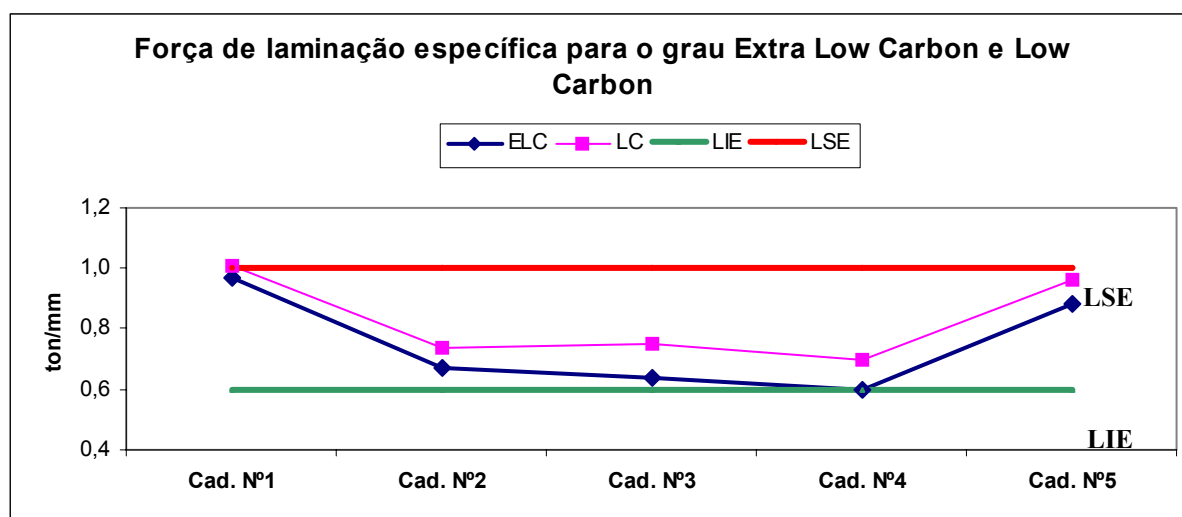


Figura 3 – Gráfico da força de laminação específica média praticada pelos graus ELC - extra low carbon e LC - low carbon

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Laminador de Tiras a Frio

É um equipamento composto por cadeiras de laminação as quais são compostas por um conjunto de pares de cilindros de encosto e trabalho sendo este de diâmetro inferior ao dos cilindros de encosto, cuja função principal é de amenizar a deflexão dos cilindros de trabalho ocasionada pela força resistiva do material durante seu processo de deformação. A redução total atribuída ao material durante o processo pode atingir um valor de até 90%, onde cada cadeira de laminação é responsável por atribuir ao material um passe de redução objetivando a espessura final requerida. Como principal característica do processo pode citar além é claro da qualidade superficial e controle da planicidade do material, o controle da espessura final do produto ao longo de todo o seu comprimento, tendo esta uma pequena variação tolerável, consequência das vibrações naturais do processo de laminação, sendo o seu controle realizado pelo sistema de controle automático da espessura.

3.2 O Fenômeno *Chatter*

O *chatter* na operação de laminação, resulta em uma severa e inaceitável variação de espessura na tira laminada conforme mostrado na Figura 4, causando também marcas transversais na superfície dos cilindros de encosto conforme mostrado na Figura 5. Estas marcas impressas na superfície do produto laminado são de efeito danoso, principalmente em produtos que demandam uma alta qualidade superficial e com restrita tolerância na espessura final. A ocorrência de “*chatter*” pode também ocasionar a ruptura da tira laminada ou danos no laminador de tiras a frio diminuindo a “vida útil” de equipamentos periféricos.⁽²⁾

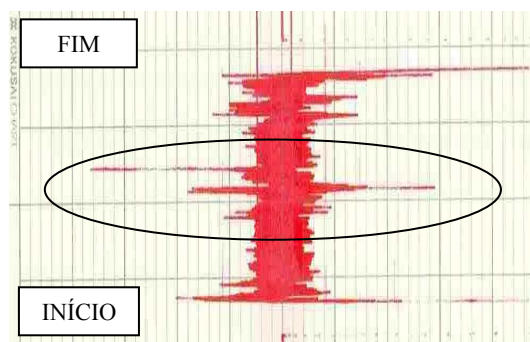


Figura 4 – Distúrbio na espessura da tira ocasionada pela ocorrência de *chatter* de 3ª oitava



Figura 5 – Marcas impressas no cilindro de encosto do laminador devido a ocorrência de *chatter* de 5ª oitava.⁽³⁾

O *chatter* é um caso particular de auto-excitação vibracional o qual se acredita surgir da operação de laminação como conseqüência de uma interação entre a estrutura dinâmica da cadeira de laminação, e as próprias operações de laminação. Para entender o comportamento dinâmico de laminação, a cadeira de laminação é modelada como uma parte de um sistema de parâmetros lineares, com todas as massas vibrando ao longo da mesma direção, perpendicular à tira laminada.⁽²⁾ Para simplificar a análise do comportamento deste modelo linear a vibração vertical de uma cadeira de laminação é frequentemente considerada como simétrica em relação à tira laminada.

Uma cadeira de laminação é assumida vibrando ao longo de uma direção principal, longitudinal e perpendicular ao fluxo da tira e cuja vibração vertical é assumida simétrica em relação à tira laminada, pode ser representada como um sistema vibracional com 4 graus de liberdade, em um diagrama esquemático conforme é mostrado na Figura 6.⁽²⁾

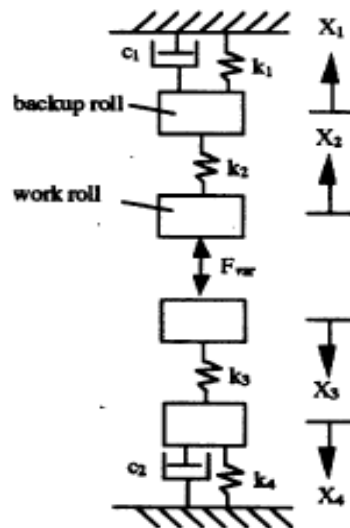


Figura 6 – Modelo de uma estrutura de uma cadeira de laminação com quatro cilindros.⁽²⁾

Contudo para simplificar a análise da estabilidade do processo de laminação, a massa do cilindro de trabalho pode ser negligenciada, baseado no fato que sua massa é muito menor do que a massa dos cilindros de encosto, por assim sendo o sistema de vibração com 4 graus de liberdade pode ser simplificado tornando este um sistema com 2 graus de liberdade.⁽²⁾

A equação diferencial de movimento do sistema mostrado na Figura 6 pode ser escrito como:

m = massa

k = mola

c = amortecedor

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = 0 \quad (1)$$

$$m_1 \ddot{x}_1 = -c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1 - k_2 (x_1 - x_2) \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = k_2 (x_1 - x_2) - F_{\text{var}} \quad (3)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = k_3 (x_4 - x_3) - F_{\text{var}} \quad (4)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 = -c_2 \dot{x}_4 - k_4 x_4 - k_3 (x_4 - x_3) \quad (5)$$

A equação diferencial de movimento por este modelo simplificado da estrutura do laminador pode ser escrita como:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1 - F_{\text{var}} \quad (6)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 = -c_2 \dot{x}_4 - k_4 x_4 - F_{\text{var}} \quad (7)$$

Assumindo que a massa do cilindro de trabalho pode ser negligenciada na equação 2 e 3 podemos reescrever como:

$$0 = k_2 (x_1 - x_2) - F_{\text{var}} \quad (8)$$

$$0 = k_3 (x_4 - x_3) - F_{\text{var}} \quad (9)$$

Então, oriundo das equações acima, a relação entre a variação do “roll gap”, $h_{d\text{var}} = x_2 + x_3$ e F_{var} pode ser obtida como:

$$h_{d\text{var}} = (x_1 + x_4) - F_{\text{var}} \left(\frac{k_2 + k_3}{k_2 k_3} \right) \quad (10)$$

Desde que a cadeia de laminação é assumida como simétrica em relação à tira laminada, a equação acima pode ser simplificada tornando:

$$h_{d\text{var}} = 2x - F_{\text{var}} \left(\frac{2}{k} \right) \quad (11)$$

Quando implementado para analisar o comportamento de *chatter*, o modelo estrutural uni-modal conforme mostrado na Figura 6, é uma predição quantitativa boa da frequência dos modos de vibração na direção longitudinal. Estas frequências são tipicamente associadas com as frequências das variações de espessura observadas na tira e com as estrias na superfície da tira observadas após ocorrência de *chatter*. O modelo estrutural uni-modal é suficiente para investigação de *chatter* devido ao amortecimento negativo.⁽²⁾

3.2.1 Os tipos de *chatter*

Basicamente existem três tipos predominantes de oscilações na laminação e eles podem ser descritos como:

- 1- Torcional
- 2- Modo de *chatter* de 3ª oitava
- 3- Modo de *chatter* de 5ª oitava

Estes modos de *chatter* são diferenciados basicamente pela sua frequência de ressonância. No caso 1 - uma frequência aproximada de 5 a 15 Hz, no caso 2 de 125 a 240 Hz e finalmente no caso 3 de 550 a 650 Hz. No caso de altas velocidades para redução a frio da tira o *chatter* torcional ocorre apenas como resultado de um mau funcionamento do circuito de controle de velocidade do motor, este causa pequenas flutuações na espessura da tira.

O *chatter* de 3ª oitava é caracterizado por uma ocorrência repentina estendendo à sua amplitude máxima em poucos segundos. Desta maneira esta ocorrência é auto excitável, resultando em severas variações de espessura na tira laminada e flutuações pronunciadas de tensões entre vãos de cadeira, podendo também resultar em arrebetamentos da tira. Usualmente esta ocorrência começa com um estrondo em baixas frequências sendo detectada de forma auditiva e imediatamente suprimida por uma redução na velocidade de laminação por parte do operador ou do próprio equipamento.

O *chatter* de 5ª oitava é uma ocorrência acompanhada pelo desenvolvimento de marcas superficiais nos cilindros de laminação, uma vez desenvolvidas estas marcas elas não apenas excitam o laminador como também causam estrias que são impressas na superfície na tira laminada em qualquer velocidade de laminação, este tipo de vibração não altera a espessura da tira laminada, porém afeta o aspecto superficial desta.⁽²⁾

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Através do estudo dos parâmetros de laminação realizado pela CSN em conjunto com a empresa SKF, utilizando como ferramenta, a técnica DOE (*Design Of Experiment*), realizou-se planejamento fatorial 2^K onde foram definidas as principais variáveis de processo que poderiam levar a ocorrência de "*chatter*" durante o processo de laminação, sendo estas assim combinadas a fim de verificar sua interação para ocorrência do fenômeno. Foram definidos operacionalmente os principais aspectos ou variáveis que poderiam levar a ocorrência de "*chatter*" durante o processo: tensão do vão 3/4, redução da 1ª cadeira, redução da 5ª cadeira e diâmetro do cilindro de trabalho da 4ª cadeira, atribuindo valores máximos e mínimos a cada uma das variáveis eleitas.⁽³⁾ Estas interações foram monitoradas observando-se o nível vibracional do laminador com cada valor atribuído ao processo. O resultado da análise é mostrado na Figura 7.

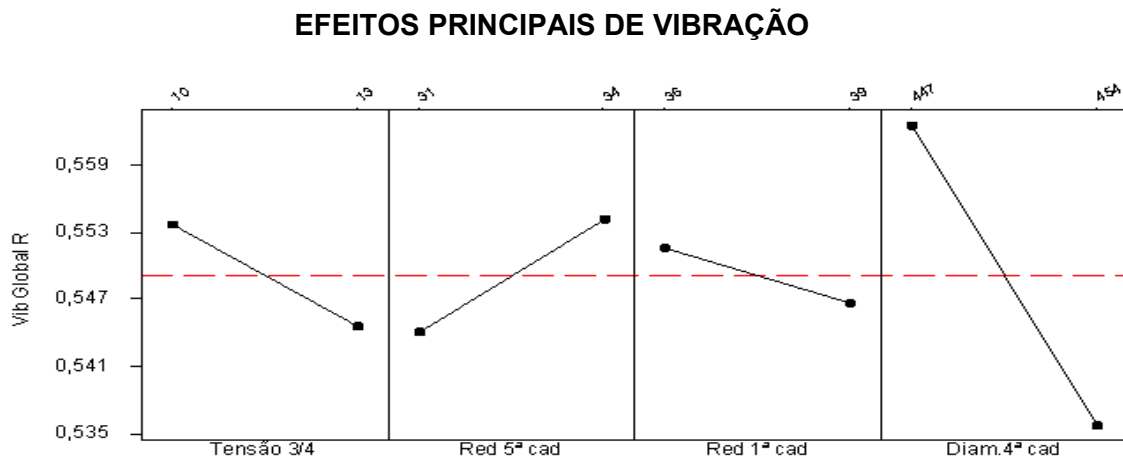


Figura 7 – Resultado das interações.⁽³⁾

A confirmação do experimento realizado em busca da normalidade do processo pela ocorrência de *chatter* de 3ª oitava é mostrado na Figura 8, que apresenta os níveis vibracionais obtidos com o uso de três diferentes diâmetros dos cilindros de trabalho da 4ª cadeira de laminação.

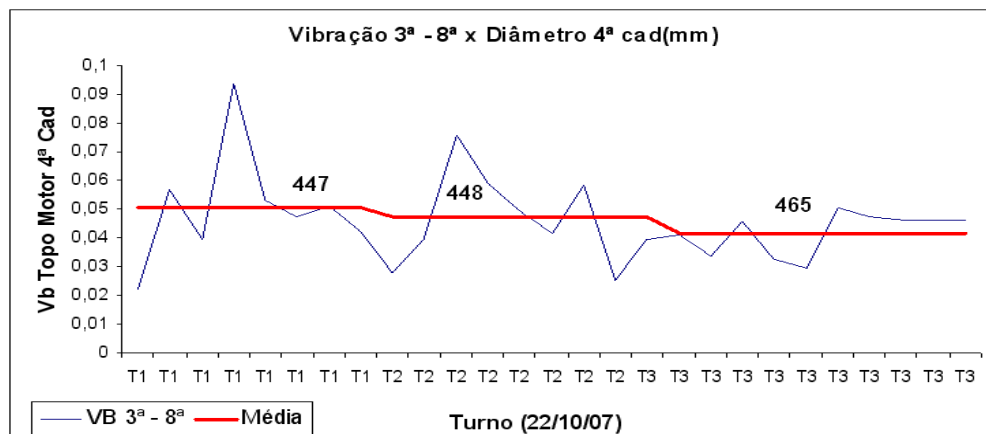


Figura 8 – Nível vibracional do laminador com diferentes diâmetros de cilindro de 4ª cadeira.⁽³⁾



Figura 9 – Seqüência para aplicação do gerenciamento da rotina ou da melhoria, no laminador de tiras a frio da CSN.⁽⁴⁾

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Conforme fluxo proposto para o gerenciamento da rotina este mostrado na Figura 9.⁽⁴⁾ Após a identificação da anomalia crônica, através de dados e estratificações, utilizando também o estudo realizado com o planejamento fatorial⁽³⁾ para eliminação das causas de ocorrência de *chatter* de 3ª oitava no laminador. Foram confeccionados padrões operacionais, que são instrumentos básicos do “Gerenciamento do trabalho do dia a dia”. É ele que indica a meta e os procedimentos para a execução do trabalho.⁽⁴⁾ Apesar de as outras variáveis de processo ter menor influência, no comportamento vibracional do laminador, em

comparação ao diâmetro do cilindro de trabalho da 4ª cadeira; todas estas variáveis de processo foram inclusas na confecção dos padrões operacionais para o processo de laminação do grau *extra low carbon*, utilizado na fabricação de latas expandidas, destacando as seguintes atividades: Processo com o diâmetro de cilindro da 4ª cadeira maior ou igual a 460 mm; Percentual de redução da 5ª cadeira igual a 31%; Valor de tensão do vão $\frac{3}{4}$ igual a 13 toneladas, todos os operadores envolvidos foram treinados na execução das atividades supracitadas. O uso de cilindros com maiores diâmetros na 4ª cadeira, também conduziu a um processo de laminação com maiores cargas na 4ª cadeira, deslocando o processo para uma região distante da região “mole” do laminador, região onde se localiza as folgas grosseiras do equipamento, fato que conforme descrito no item 2, levaria o laminador a ressonância com conseqüente ocorrência do fenômeno *chatter*. É mostrada na Figura 10 a uniformidade da espessura na saída da 5ª cadeira, após padronização do processo de laminação. Este fato somado a não ocorrência de *chatter* audível durante o processo de laminação, a padronização das variáveis de processo de laminação ótimas e ao treinamento dos operadores envolvidos para o cumprimento destas atividades operacionais, levou a resultados satisfatórios quanto à evolução das reclamações de clientes por problemas de rompimento da lata durante seu processo de expansão, tendo-se como motivo a variação brusca e localizada da espessura do material conforme mostrado na Figura 11. Além disso, o treinamento operacional para segregação de materiais onde houver a ocorrência do problema, também contribuiu para que a não conformidade chegue ao cliente final.

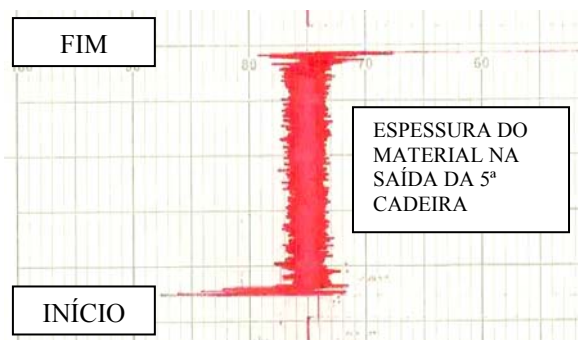


Figura 10 – Espessura do material processado com diâmetro da 4ª cadeira igual a 460 mm

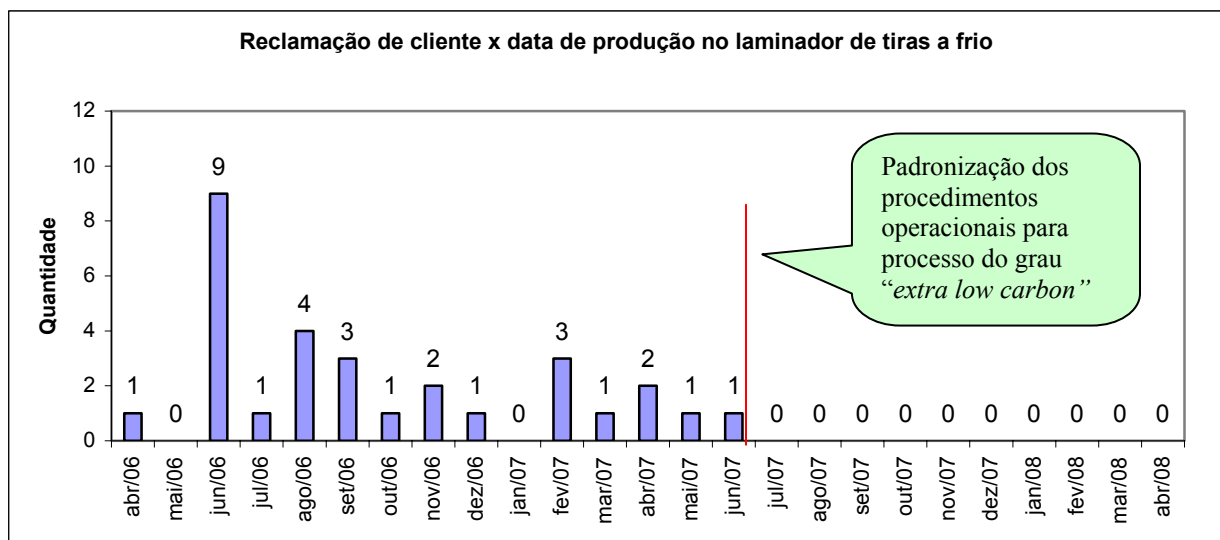


Figura 11 – Gráfico de reclamações no período de padronização das ações

5 CONCLUSÃO

- As características relacionadas ao planejamento de experimento como importantes para redução da ocorrência de *chatter* no laminador foram confirmadas através dos resultados verificados na espessura final e na redução da ocorrência de reclamação de cliente.
- A segregação de materiais em que houver a ocorrência de *chatter*, e definição de novo fluxo para segregação do trecho afetado também se mostraram eficazes para contenção do efeito a fim de que estas não conformidades não cheguem ao cliente.
- O aumento da demanda e o gráfico mostrando a redução das reclamações por problemas relacionados à espessura nos mostram a eficácia das ações tomadas para o processo do grau *extra low carbon* no laminador de tiras a frio nº. 1 da CSN.

REFERÊNCIAS

- 1 ABM – Curso de laminação de produtos planos – ABM – Associação brasileira de metalurgia e materiais. São Paulo – SP - 2004
- 2 I.S. YUN, W.R.D. WILSON, K.F.EHMANN – Review of chatter studies in cold rolling, July 30 1997
- 3 GOMES, U. ROCHA; PAULINO, W. DE SOUZA; NETO, P. C. DO AMARAL; AQUINO, R. PERRONI; GOMES, G. LEOPOLDO; NEVES, A. DIAS; FERNANDES, J. CARLOS; SILVA, F. HERILTON; OLIVEIRA, F. GERALDO; – Melhoria da qualidade das dimensões das chapas para latas dos LTF1 e 2 da CSN usando vibração e planejamento de experimentos – chatter.
- 4 CAMPOS, V. F. – Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia, Editora de desenvolvimento gerencial – Belo Horizonte – B.H, 1998