

ADEQUAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DAS GAIOLAS PRÉ- ACABADORAS PARA FIO MÁQUINA 6,50MM E CA50 16,0 NERVURADO PARA OLAMINADORA QUENTE DA UNIDADE RESENDE – VOTORANTIM SIDERURGIA¹

Arthur Carlos de Paula Pinto²

Cleber Saraiva Pereira³

Rafael Lopes⁴

Reginaldo Tenório da Silva³

Roque Carlos de Almeida Santos⁵

Sergio dos Santos Gullo⁶

Resumo

O Laminador a Quente da Votorantim de Resende apresentava baixa utilização na produção dos produtos Fio Máquina 6,5 e CA50 16,0 mm devido a baixa tonelagem das guias roletadas das Gaiolas 16 e 18 e as quebras de rolete que resultavam em paradas no processo. Em função disso, observou-se que a medida da barra na entrada das gaiolas 16 e 18 não possibilitava o contato ideal da mesma com os roletes, gerando uma instabilidade da barra durante a passagem na guia e consequente quebra dos roletes. Deste modo, através do método de LENDL foi desenvolvida uma nova calibração para estes produtos a fim de melhorar a estabilidade das barras durante a laminação. Como resultado, as paradas por quebra foram reduzidas e consequentemente a vida útil da guia aumentou de 100 t para 1000 t laminadas. A produção mensal aumentou em 1,40 % e obteve um ganho anual de R\$ 6.190.516,5.

Palavras-chave: Laminador; Guias; Calibração; Processo.

SUITABILITY OF THE CALIBRATION OF PRÉ-FINISHERS STANS FOR PRODUCTS WIRE ROD 6.5 MM AND REFORCED REBAR 16.0 MM OF THE VOTORANTIM'S ROLLING MILL IN RESENDE

Abstract

The rolling mill of Votorantim Resende had low utilization in the production of Wire Rod 6.5 and CA50 16.0 mm due to lower tonnage of roller guides of the stands 16 and 18 and breaks rollers that resulted in interruptions in the process. Because of this the measurement of the input bar at the stands 16 and 18 did not allow ideal contact thereof with the rollers, causing instability during passage of the bar tab and the consequent breakage of the rollers. Thus, using the method of calibration Lendl for these products has been modified to improve the stability of the bars during the process. As a result, the breaks were reduced by interruptions and consequently the lifetime of guide increased from 100 to 1000 t rolled. Monthly production increased by 1.40% and achieved an annual gain of R \$ 6,190,516.5.

Key words: Rolling Mill; Guides; Calibration; Process.

¹ *Contribuição Técnica ao 68º Congresso Internacional da ABM, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Técnico em Mecânica. Supervisor Oficina de Cilindros. Votorantim Siderurgia – Unidade Resende, RJ, Brasil.*

³ *Técnico Metalúrgico. Técnico Especialista em Processo. Votorantim Siderurgia – Unidade Resende, RJ, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalúrgico. Engenheiro de Processo. Votorantim Siderurgia – Unidade Resende, RJ, Brasil.*

⁵ *Técnico Mecânico. Supervisor de produção. Votorantim Siderurgia – Unidade Resende, RJ, Brasil.*

⁶ *Técnico Mecânico. Operador 4. Votorantim Siderurgia – Unidade Resende, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A laminação é o processo de conformação mecânica de metais mais utilizado, pois apresenta alta produtividade e possibilita um alto controle dimensional nos passes de laminação, obtendo desta forma um produto acabado com características dimensionais muito precisas.⁽¹⁾

No processo de laminação de fio máquina e vergalhão, o tarugo com seção quadrada é submetido ao passe caixa nas duas primeiras gaiolas e em seguida na sequência oval-redondo nas demais gaiolas, até que o dimensional final do produto seja atingido. Durante o processo, o material com seção oval é direcionado aos canais dos cilindros e discos através de guias roletadas para que seja feita a conformação mecânica do oval para o redondo.⁽²⁾ As guias dos passes das gaiolas pré-acabadoras estavam apresentando quebras nos roletes durante a laminação dos produtos FM 6,5mm e CA50 16,0mm ocasionando paradas e sucatas no processo de laminação como pode ser observado nos gráficos abaixo:

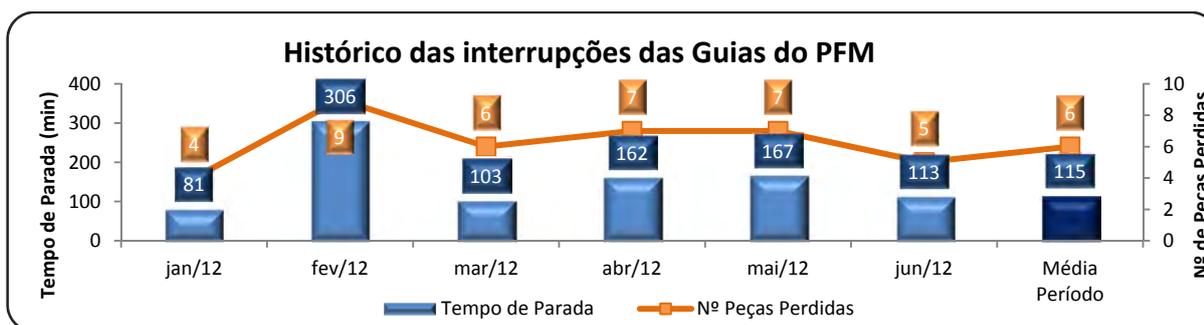


Figura 1 – Gráfico histórico do tempo de parada por mês causado pela quebra dos roletes.

As inúmeras quebras das guias roletadas justificaram um estudo mais aprofundado deste problema. Para isto, optou-se na utilização da metodologia Six Sigma (DEMAIC) objetivando a redução das quebras e, conseqüentemente, o tempo de parada e sucatas no processo do laminador Morgan de Resende.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo reduzir tempo de parada por quebra dos roletes tendo como consequência o aumento da vida útil das guias de entrada das gaiolas 16 e 18.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de conformação mecânica das barras no laminador Morgan ocorre através de até 28 passes de laminação, iniciando no desbaste, em seguida no intermediário e pré-acabadores, finalizando no bloco acabador como mostrado na Figura 2.

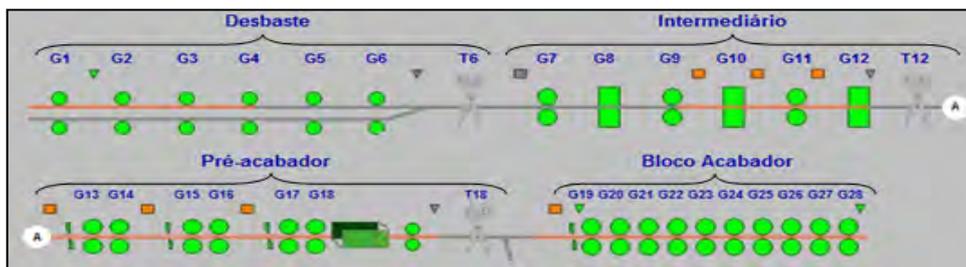


Figura 2 – Esquema do laminador Morgan

Os equipamentos que compõem a seção dos pré-acabadores são: Tesoura 18; Pré-acabador 1, 2 e 3; Formadores de laço 2,3 e 4; e Tesoura snap 2,3 e 4.

- *Tesoura 18*: é utilizada para despontar cabeça da barra com baixa temperatura e imperfeição. Quando há ocorrência de sucata no bloco acabador, a mesma entra em modo de sucateamento automático;
- *Pré-acabador*: é composto de 6 gaiolas com sequência de redução oval-redondo, guias secas na entrada dos passes ímpares e guias roletadas na entrada dos passes pares. As guias têm a finalidade de direcionar a barra no canal do disco das 6 gaiolas de laminação para que seja realizada a conformação mecânica de acordo com a calibração;
- *Formadores de laço 2,3 e 4*: é constituído de um sensor de detecção de metal quente (loop scanner) com a finalidade de controlar a compressão e tração na barra durante a conformação mecânica nas gaiolas de laminação. Quando houver uma anomalia entre as gaiolas dos Pré acabadores, onde amplitude do laço fica maior que 600 mm, é acionado modo de sucateamento automático, fechando as tesouras *snap*, e o sucateamento na tesoura 12;
- *Tesoura snap*: tem a função de evitar acúmulo sucata dentro dos pré-acabadores caso aconteça alguma anormalidade no processo.

2.1 Análise da Calibração Original dos Pré-acabadores

A partir das análises feitas com a metodologia *Six Sigma* (Figura 3), foram definidas as variáveis que estavam impactando diretamente no problema

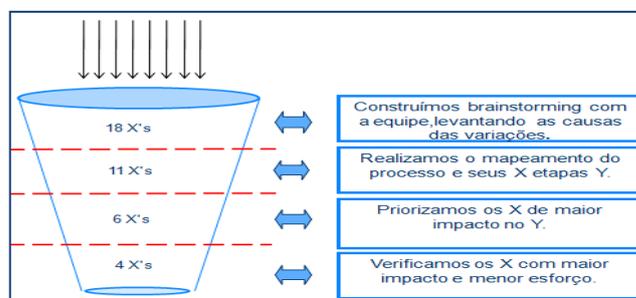


Figura 3 – Etapas realizadas na análise das causas do problema.

Basicamente, foi observado que o raio da seção oval da barra oriunda das gaiolas 15 e 17 não apresentava concordância com o raio dos roletes das guias de entrada das gaiolas 16 e 18 respectivamente, ou seja, não havia o contato ideal da barra com o perfil do rolete o que ocasionava a quebra dos roletes. A figura abaixo mostra uma tela do software *IBA Analyzer* (Figura 4) que indica o momento uma parada

ocorrida por quebra do rolete pela variação anormal da altura do laço formado entre as gaiolas 14 e 15.

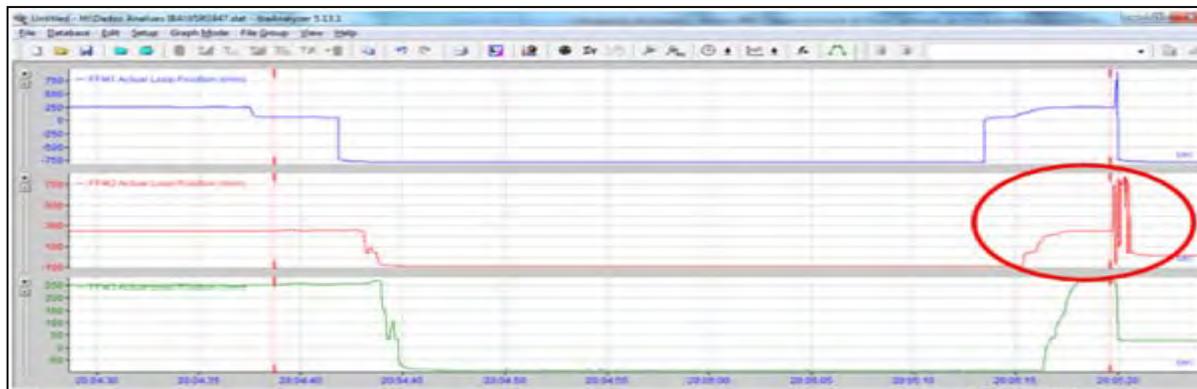


Figura 4 – Gráfico do IBA Analyzer indicando a quebra do rolete.

Foram levantadas quatro causas potenciais na matriz Esforço x Impacto. Como destacado no plano de ação mostrado abaixo (Figura 5), duas causas demandavam um estudo mais aprofundado da calibração que estava sendo utilizada no processo:

- relação entre a largura e altura da barra; e
- fator de preenchimento

Gestão do Planos de Ações					
Tratamento: IDB034.649 - 04/2012 690' - Quebra do rolete da guia de entrada da G16 e 18 (FM6,50 e CA5016)					
Local: 18 - Industrial Resende > Laminação à quente					
O que (Descrição)	Quando (Prazo)	Quem (Responsável)	Ef.	St.	
OP - Analisar relação entre largura e altura do oval da G15 e G17.	10/06/2012	Rafael Lopes	Eficaz	Concluído	
OP - Estudar o preenchimento do oval no redondo.	10/06/2012	Cleber Saraiva Pereira	Eficaz	Concluído	
OP - Analisar a concordância entre o raio do canal e do rolete.	10/06/2012	Cleber Saraiva Pereira	Eficaz	Concluído	
OF - Analisar a influência dos roletes gastos.	20/06/2012	Arthur Carlos De Paulo Pinto	Eficaz	Concluído	
OP - Analisar variação do comprimento de cabeça na tesoura 12.	10/06/2012	Roque Carlos De Almeida Santos	Eficaz	Concluído	
OP - Testar rolete com maior robustez na guia de entrada da G16 e G18.	10/06/2012	Sergio Dos Santos Gullo	Eficaz	Concluído	
OP - Revisar e treinar os colaboradores no DD-VSRS-GLQ-021.	30/07/2012	Cleber Saraiva Pereira	Eficaz	Concluído	

2.1.1 Relação entre a largura e altura da barra

No processo de conformação dos pré-acabadores a barra oriunda da gaiola 12 do intermediário com seção transversal de 37 x 37 mm é submetida a 6 passes de redução(gaiolas 13 a 18).

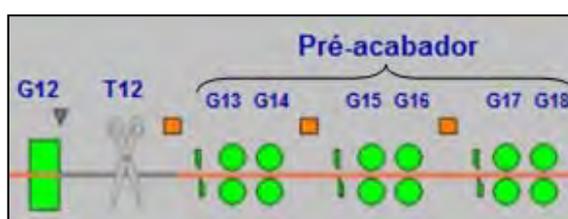


Figura 5 – Ilustração do Pré-acabador do laminador Morgan

Na saída das gaiolas 13, 15 e 17 a barra apresenta uma seção transversal oval, enquanto que nas gaiolas 14, 16 e 18 a seção é redonda. As guias de entrada roletadas têm a função de direcionar, de forma estável e adequada, a barra com seção oval no canal das gaiolas pares. A medida original do fabricante Morgan da altura e largura da seção oval da barra na saída das gaiolas 15 e 17 é mostrada, respectivamente, nas figuras abaixo:

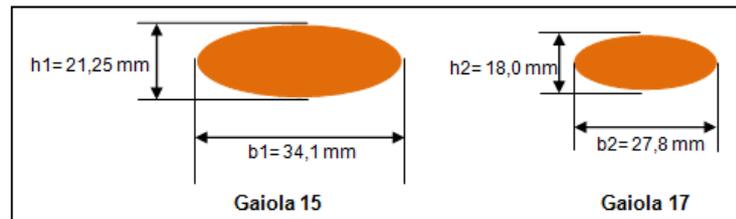


Figura 6 – Medidas da seção oval das gaiolas 15 e 17.

A estabilidade da barra durante a passagem pelos roletes tem relação com a largura e a altura da seção oval do material,⁽³⁾ onde:

$$\frac{b}{H} > 2 \text{ (boa estabilidade)} \quad \frac{b}{H} = 1,5 \text{ a } 2,0 \text{ (estabilidade regular)}$$

$$\frac{b}{H} < 1,5 \text{ (estabilidade ruim)}$$

Onde,

b: Largura da seção oval e;

H: Altura da seção oval.

Quando a relação é aplicada na calibração original do fabricante Morgan, para seção transversal oval obtida através da redução nas gaiolas 15 e 17, temos:

Gaiola 15:

$$b = 34,1 \text{ mm}$$

$$H = 21,2 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{H} = \frac{34,1}{21,2} = 1,6 > 1,5 \text{ e } < 2 \text{ (estabilidade regular)}$$

Gaiola 17:

$$b = 27,8 \text{ mm}$$

$$H = 18,0 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{H} = \frac{27,8}{18,0} = 1,54 > 1,5 \text{ e } < 2 \text{ (estabilidade regular)}$$

Como mostrado nos valores obtidos acima, a barra com seção oval obtida nas gaiolas 15 e 17 apresenta uma estabilidade regular na passagem pelos roletes das guias de entrada das gaiolas 16 e 18, respectivamente. Desta forma, a passagem da barra pela guia gerava esforços pontuais nos roletes por impacto, causando desgaste prematuro (Figura 7) e a propagação de trincas por fadiga tendo como consequência, a quebra dos roletes.



Figura 7 – Desgaste prematuro dos roletes.

Foi observado após inspeção que as guias apresentavam folga nos roletes quando atingiam 100 toneladas de barras laminadas. De modo a evitar as ocorrências descritas acima foi definido que as guias deveriam ser trocadas a cada 100 t, que representam 1 hora de laminação.

2.1.2 Fator de preenchimento

Para que não haja instabilidade durante a passagem do barra com seção oval no canal redondo, a área deste canal deve ser no mínimo 80% da área da barra oval.⁽³⁾ De acordo com Ekelund, a área da seção pode ser definida pela seguinte fórmula:⁽⁴⁾

$$A_{Oval} = \frac{2}{3} \times B \times H$$

Desta forma, obtemos a área da seção oval do canal das gaiolas 15 e 17.

Gaiola 15 (H= 21,2; B= 43,8):

Gaiola 17 (H= 18,0; B= 35,5):

$$A_{G15} = \frac{2}{3} \times B \times H = 619,04 \text{ mm}^2 \quad A_{G17} = \frac{2}{3} \times B \times H = 426,0 \text{ mm}^2$$

O diâmetro da barra nas gaiolas 16 e 18 que estava sendo utilizado na calibração antiga eram 24,6 e 20,5 mm respectivamente. Desta forma, as áreas são:

$$A_{G16} = \pi \frac{D^2}{4} = 475,29 \text{ mm}^2 \quad A_{G18} = \pi \frac{D^2}{4} = 330,06 \text{ mm}^2$$

Como citado acima, para que o preenchimento seja ideal a relação entre a área da seção da barra e a área do canal oval deve ser maior ou igual que 0,80. Desta forma temos:

$$\frac{A_{G16}}{A_{G15}} = \frac{475,29}{619,04} \times 100 = 0,76 < 0,80 \quad \frac{A_{G18}}{A_{G17}} = \frac{330,6}{426,0} \times 100 = 0,77 < 0,80$$

Como descrito acima, o fator de preenchimento não era o ideal. Desta forma a barra com seção oval apresentava instabilidade ao passar pelo canal redondo gerando esforços nos roletes das guias de entrada.

2.2 Desenvolvimento de Nova Calibração

A fim de adequar a medida da barra ao perfil do rolete já existente, foi feito um estudo da calibração do laminador para os produtos FM 6,5mm e o CA50 16,0mm, através do método de LENDL. A Figura 8 mostra a seqüência dos pré-acabadores utilizada no estudo.



Figura 8 – Sequência de calibração dos pré-acabadores.

Cálculo do alongamento total (λ_t) através da área da seção inicial (gaiola 14) e final (gaiola 18):

Gaiola 14: $D_0 = 29,5 \text{ mm}$

Gaiola 18: $D_f = 19,5 \text{ mm}$

$$A_0 = \pi \frac{29,5^2}{4} = 683,49 \text{ mm}^2 \text{ (G14)} \quad A_f = \pi \frac{19,5^2}{4} = 298,65 \text{ mm}^2 \text{ (G18)}$$

Calcula-se o alongamento médio (λ_m) e total (λ_t) através das equações (1) e (2), onde (n) é o número de passes:

$$\lambda_t = \frac{A_0}{A_f} \quad (1) \quad \lambda_m = \sqrt[n]{\lambda_t} \quad (2)$$

Substituindo a equação (1) na (2) temos:

$$\lambda_m = \sqrt[n]{\frac{A_0}{A_f}} \quad (3) \quad \lambda_m = \sqrt[4]{\frac{683,49}{298,65}} \quad \lambda_m = 1,23$$

Através do λ_m pode-se calcular a redução média (R_m) e o alongamento entre os redondos (λ_{R-R}), como mostrado a seguir:

$$R_m = \frac{1,23 - 1}{1,23} = 0,19$$

$$\lambda_{R-R} = 1,23 \times 1,23 = 1,51$$

Determinação do diâmetro do material nas gaiola 16 e 18 através do cálculo das respectivas áreas por meio do λ_{R-R} .

$$A_{G16} = \frac{A_{G14}}{\lambda_{R-R}} = \frac{683,15}{1,51} = 451,80 \text{ mm}^2 \quad A_{G18} = \frac{A_{G16}}{\lambda_{R-R}} = \frac{452,42}{1,51} = 299,61 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{G16} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 451,80}{3,14}} = 23,98 \sim 24 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{G18} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 299,61}{3,14}} = 19,50 \text{ mm}^2$$

Através do gráfico de LENDL a seguir, foi verificado o alongamento máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) da seqüência redondo-oval-redondo correspondente aos diâmetros das gaiola 16 e 18.

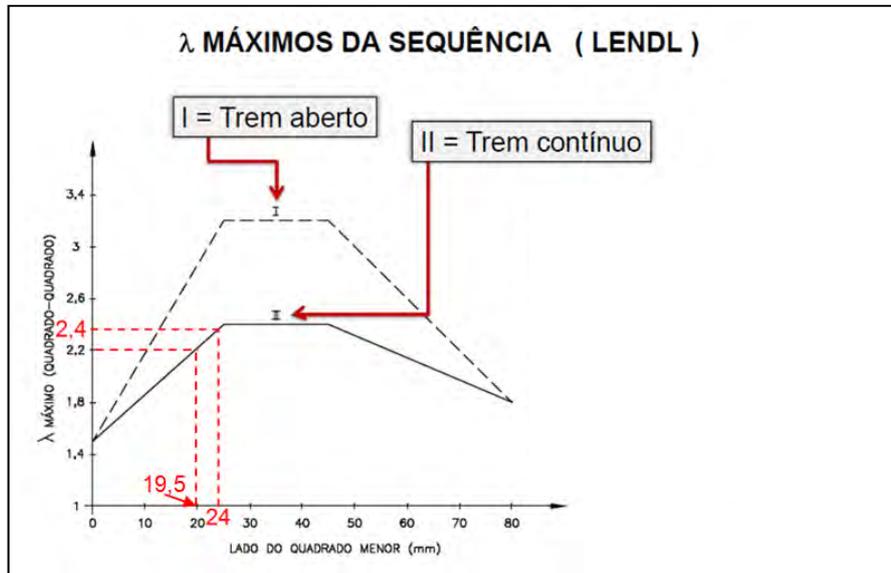


Figura 9– Gráfico para determinação do $\lambda_{m\acute{a}x}$ seqüência LENDL.

Como o valor encontrado no gráfico corresponde à seqüência quadrado-oval-quadrado, o $\lambda_{m\acute{a}x}$ para o redondo-oval-redondo, segundo LENDL, pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$\text{Gaiola 16: } \lambda_{m\acute{a}x R-R} = 0,8 \times \lambda_{m\acute{a}x Q-Q} = 0,8 \times 2,4 = 1,92$$

$$\text{Gaiola 18: } \lambda_{m\acute{a}x R-R} = 0,8 \times \lambda_{m\acute{a}x Q-Q} = 0,8 \times 2,2 = 1,76$$

Com o $\lambda_{m\acute{a}x}$ determinado das gaiolas 16 e 18, é necessário calcular o fator de correção para a redistribuição dos alongamentos totais.

$$K = \sqrt[2]{\frac{(\lambda_{m\acute{a}x 1} \times \lambda_{m\acute{a}x 2} \times \lambda_{m\acute{a}x 3} \times \dots \lambda_{m\acute{a}x n})}{\lambda_{m\acute{e}dio}}} = \sqrt[2]{\frac{1,92 \times 1,76}{2,29}} = 1,21$$

Desta forma, o alongamento recomendado entre os redondos são os seguintes:

$$\lambda_{t G16} = \frac{\lambda_{m\acute{a}x G16}}{K} = \frac{1,92}{1,21} = 1,59$$

$$\lambda_{t G18} = \frac{\lambda_{m\acute{a}x G18}}{K} = \frac{1,76}{1,21} = 1,45$$

De acordo com a equação do 2º grau a seguir, o alongamento dos redondos das gaiolas 16 e 18 são decompostos em λ_1 e λ_2 .

$$\lambda^2 - 0,4 \times \lambda_t \times \lambda - 0,6 \times \lambda_t = 0$$

Gaiola 16:

$$\lambda^2 - 0,4 \times 1,59 \times \lambda - 0,6 \times 1,59 = 0$$

$$\lambda^2 - 0,64 \lambda - 0,95 = 0_{(1)}$$

Gaiola 18:

$$\lambda^2 - 0,4 \times 1,45 \times \lambda - 0,6 \times 1,45 = 0$$

$$\lambda^2 - 0,93 \lambda - 0,87 = 0_{(2)}$$

Resolvendo as equações do 2º grau(1) e (2) obtém-se os alongamentos λ_1 e λ_2 das gaiolas 16 e 18:

$$\lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Gaiola 16:Gaiola 18:

$$\lambda_1 = 1,27 \lambda_1 = 1,35$$

$$\lambda_2 = -0,71 \text{ (valor desconsiderado)} \quad \lambda_2 = -0,69 \text{ (valor desconsiderado)}$$

Com os valores do alongamento encontrados, determina-se o coeficiente K1 (Alargamento de LENDL) para as gaiolas 16 e 18 pelo do gráfico da Figura 11:

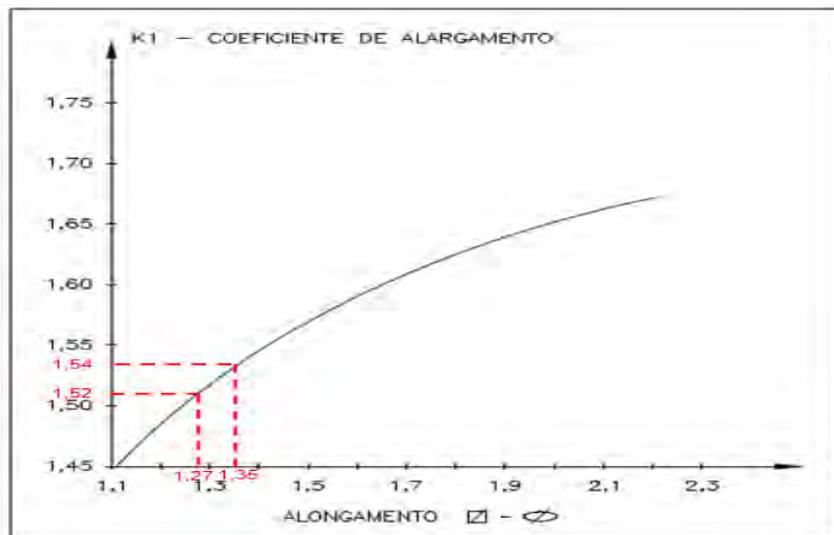


Figura 11– Gráfico para determinação do alargamento LENDL (coeficiente K1).

Deste modo, os coeficientes K1 das gaiolas 16 e 18 encontrados são 1,54 e 1,52, respectivamente.

Foi determinada a área do oval da gaiola 15 e 17 pelos seguintes cálculos:

$$A_{G15} = \frac{A_{G14}}{\lambda_{1G16}} = \frac{683,15}{1,35} = 506,30 \text{ mm}^2 \quad A_{G17} = \frac{A_{G16}}{\lambda_{1G18}} = \frac{451,80}{1,27} = 355,75 \text{ mm}^2$$

Com as áreas dos ovais determinadas, pode-se encontrar o valor do Coeficiente K2 (Correção de LENDL) por meio do gráfico a seguir:

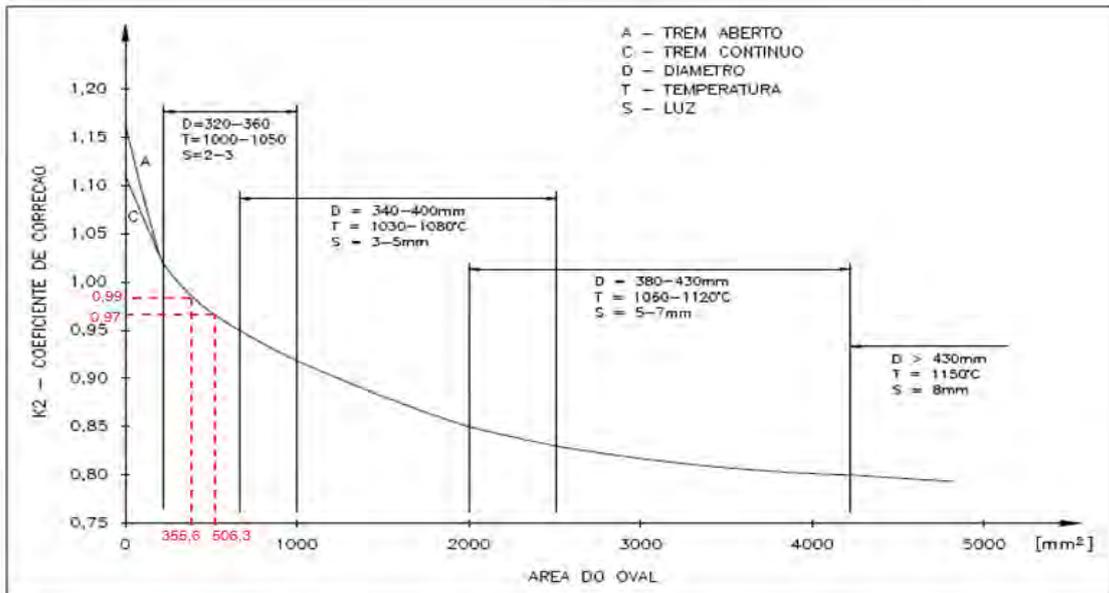


Figura 12- Gráfico para determinação da Correção de LENDL (coeficiente K2)

Cálculo da base (B) do canal oval das gaiolas 15 e 17, onde:
 \emptyset : diâmetro do maior redondo da seqüência redondo-oval-redondo

$$B = \emptyset \times K_1 \times K_2$$

Gaiola 15: $B = 29,5 \times 1,54 \times 0,97 = 44,07 \text{ mm}$

Gaiola 17: $B = 29,5 \times 1,54 \times 0,97 = 36,12 \text{ mm}$

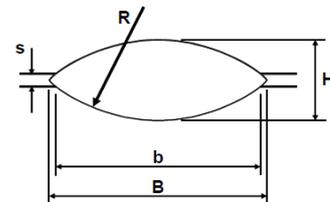
A partir do cálculo da base, pode-se calcular a altura (H) do oval pela fórmula de LENDL:

$$H = \frac{3 \times A}{2 \times B}$$

Gaiola 15: $H = \frac{3 \times 506,30}{2 \times 44,07} = 17,23$ **Gaiola 17:** $H = \frac{3 \times 355,75}{2 \times 36,12} = 14,77$

Desta forma, a largura (b) da seção oval da barra laminada nas gaiolas 15 e 17 pode ser calculada de acordo com as equações abaixo, onde S é a luz utilizada em cada gaiola:

$$b = \sqrt{4 \times \left(\frac{B^2 + H^2}{4 \times H} \right) \times (H - S) - (H - S)^2}$$



$$b_{G15} = \sqrt{4 \times \left(\frac{44,07^2 + 17,23^2}{4 \times 17,23} \right) \times (17,23 - 5,0) - (17,23 - 5,0)^2} = 37,97 \text{ mm}$$

$$b_{G17} = \sqrt{4 \times \left(\frac{36,12^2 + 14,77^2}{4 \times 14,77} \right) \times (14,77 - 4,3) - (14,77 - 4,3)^2} = 31,93 \text{ mm}$$

2.2.1 Relação entre largura e altura – nova calibração

$$\text{Gaiola 15: } \frac{b}{H} = \frac{37,97}{17,23} = 2,2 > 2,0 \text{ (boa estabilidade)}$$

$$\text{Gaiola 17: } \frac{b}{H} = \frac{31,93}{14,77} = 2,2 > 2,0 \text{ (boa estabilidade)}$$

2.2.2 Fator de preenchimento – nova calibração

$$\frac{A_{G16}}{A_{G15}} = \frac{451,80}{506,30} \times 100 = 0,89 > 0,80 \quad \frac{A_{G18}}{A_{G17}} = \frac{299,61}{355,75} \times 100 = 0,84 > 0,80$$

3 RESULTADOS

Pode-se observar na Tabela 1 que com a nova calibração houve um aumento do fator de preenchimento e da relação entre a largura e altura da seção oval resultante das gaiolas 15 e 17 propiciando uma maior estabilidade da barra durante a passagem pelos pré-acabadores.

Tabela 1 – Comparação das calibrações

Relação		Especificado	Calibração Original	Nova Calibração
$\frac{b}{H}$	G15	>2,0	1,6	2,2
	G17		1,54	2,2
Fator de Preenchimento	$\frac{G16}{G15}$	0,80	0,76	0,89
	$\frac{G18}{G17}$		0,77	0,84

Desta forma, pode-se destacar os seguintes ganhos no processo de laminação comparando o período anterior e posterior ao projeto:

- Redução do tempo médio das paradas por quebra de rolete de 115 min para 0 (zero);
- Redução do número médio de peças perdidas de 6 para 0 (zero).
- Aumento da vida útil das guias de 100 pra 1000 t tendo como consequência a redução do número de trocas das guias por desgaste dos roletes.

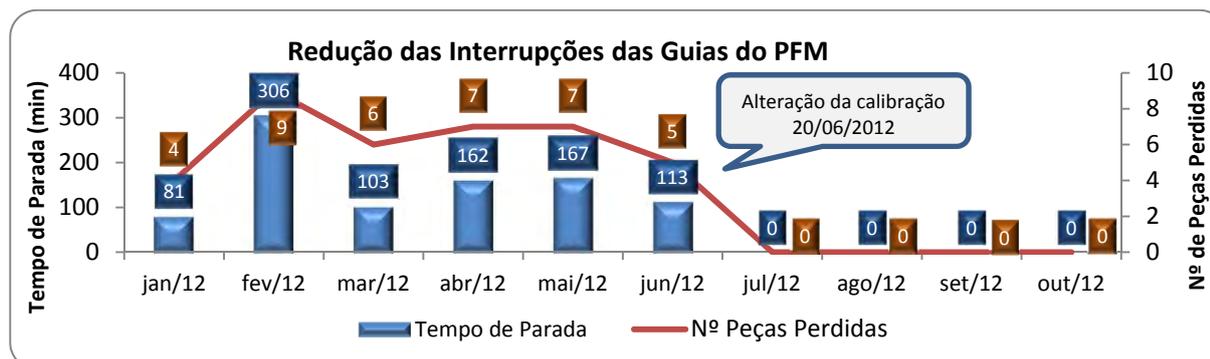


Figura 13– Gráfico da redução das Interrupções e peças perdidas.

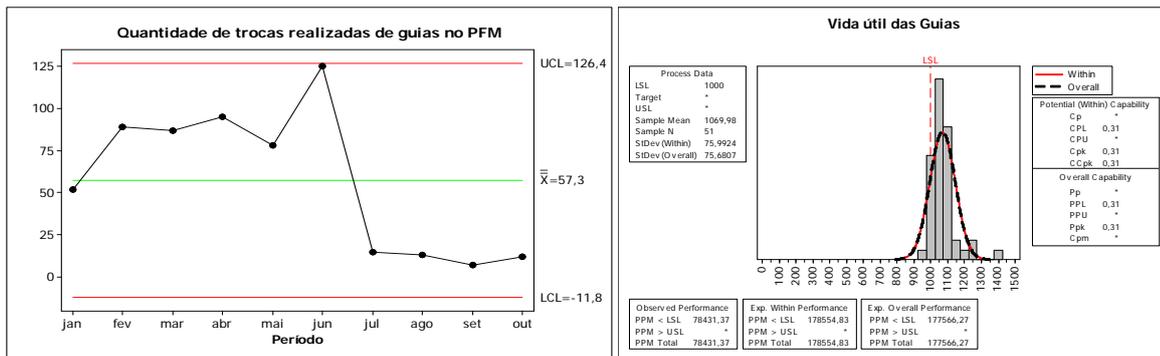


Figura 14 – Gráfico da redução da quantidade de trocas e da capacidade do processo perdidas

Com os resultados obtidos, o retorno financeiro deste projeto considerando o mix e margem de contribuição média das bitolas, como observado na tabela abaixo, é de R\$ 6.190.516,5

Tabela 2 – Ganho financeiro

Cálculo do Ganho Financeiro do Projeto		
Produtividade média	t/h	70
Horas disponíveis para produção após o Projeto	h	10,75
Ganho anual estimado do Projeto	R\$	6.190.516,5

4 CONCLUSÃO

Desta forma, pode-se concluir que a melhoria contínua é necessária ao processo e que o estudo da calibração através do método LENDL mostrou que os parâmetros que influenciam nas dimensões obtidas nos passes dos pré-acabadores não eram ideais e tinham potencial de melhoria. Além disso, o envolvimento da equipe e a “quebra” de paradigmas foram fundamentais no êxito deste projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 ABM – Edição --Laminação e Calibração de Produtos não-Planos de Aço,1982, 1987 e 1994
- 2 BARBOSA, G. - Curso de Laminação, Votorantim Metais, 2001.
- 3 CODA, ROBERTO, Calibração Produtos Laminados a Quente. Copar Engenharia. 2011.
- 4 WUSATOWSKI, Z. Fundamentals of Rolling, 1969.