

# HARMONIZAÇÃO DE CARGAS DO LAMINADOR REDUTOR ESTIRADOR DA V&M DO BRASIL<sup>1</sup>

Vinícius Mendes Cimini<sup>2</sup>

## Resumo

O objetivo do trabalho foi desenvolver um método que possibilitasse a harmonização das cargas de laminação do Laminador Estirador Redutor de V&M do Brasil. Após a instalação de medidores de corrente, foi desenvolvido um cálculo e constatou-se que durante a laminação, haviam cadeiras com cargas muito altas, diferentemente do que ocorria nas demais cadeiras do laminador e contrariando o cálculo teórico de esforço de laminação por cadeira. Dessa forma, foi desenvolvido o método semi-automático de harmonização de cargas e o cálculo de esforço de laminação foi alterado para aproximar os resultados práticos dos teóricos. Com essas alterações, percebeu-se em análises preliminares uma redução de 15% nos níveis de sobrecarga do laminador e estima-se, com isso, um ganho de 600 kR\$/ano devido ao aumento da disponibilidade do laminador e à redução dos custos de manutenção elétrica e mecânica.

**Palavras-chave:** Harmonização; Cargas; Cadeiras; Laminador; Tubos.

## LOAD HARMONIZATION IN STRETCH REDUCING MILL OF V&M DO BRASIL

## Abstract

The goal was to develop a method to allow the harmonization of rolling load of Stretch Reducing Mill in V&M do Brasil. After installing current's measurement, it was developed a calculation and figured out that, during rolling, some stands had very high loads, unlike what happens on the other stands of the mill and contrary of theoretical calculation. So, it was developed a semi-automatic method of load's harmonization and mill's strain was changed to approximate real results to theoretical. With these changes, it was noticed in preliminary analysis a 15% reduction in the overloading levels of mill and it is estimated, thus, a gain of 600 kR\$/year due to increased availability of the mill and the reduction of electrical and mechanical maintenance costs.

**Key words:** Harmonization; Loads; Stands; Mill; Tubes.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

<sup>2</sup> Engenheiro de Controle e Automação. Engenheiro. V&M do Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

No processo de fabricação de tubos sem costura da V&M do Brasil é necessário uma sequência de laminadores até que o produto adquira as características de comprimento, diâmetro e parede especificadas. Desses laminadores, o mais exigido, em função de sua capacidade nominal é o Laminador Estirador Redutor (SRW).

O objetivo do presente trabalho foi o estudo das sobrecargas sofridas e formas de reduzi-las a níveis aceitáveis. Para isso, foi necessária a implantação de um sistema de aquisição rápida de dados com taxa de amostragem e armazenamento de 10 ms de forma que fosse possível registrar as variações de corrente e rotação ocorridas. Após a implantação do sistema, os gráficos de corrente dos 24 motores do laminador SRW são armazenados no servidor de dados. Dessa forma, para cada tubo que passa pelo laminador, é possível visualizar o comportamento de todas as correntes, velocidades de rotação e correções de rotação. Um exemplo típico é apresentado na Figura 1. A curva verde (superior) ilustra o comportamento da rotação (por volta de 1.350 rpm). A curva vermelha (meio) ilustra um caso real de corrente, composta de um pico positivo no momento da “mordida” do tudo, uma região mais constante e um pico negativo no momento da saída do tubo da cadeira. Por fim, a curva azul (inferior) ilustra uma variação de rotação momentânea utilizada para correção de efeitos de engrossamento de pontas.

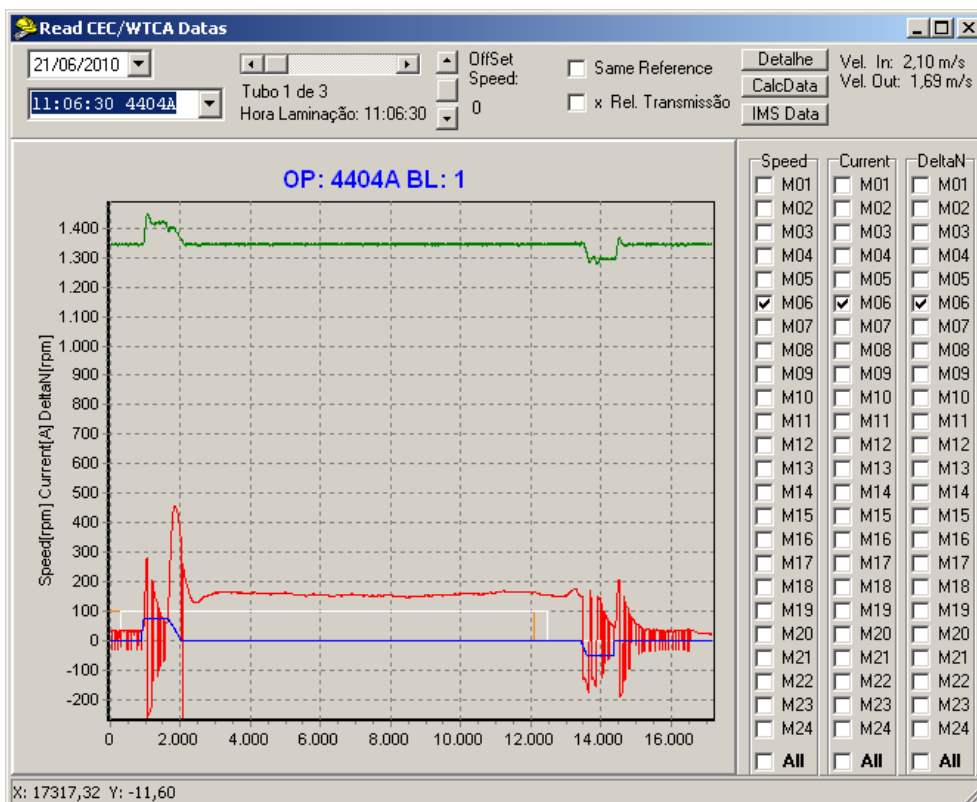


Figura 1. Curvas típicas de corrente, rotação e desvio de rotação.

Macrea, Cepisca e Grigorescu<sup>(1)</sup> utilizaram uma metodologia para o cálculo das energias e potências requeridas para cada cadeia do laminador que se mostrou funcional. No entanto, ao aplicar os mesmos cálculos para o laminador em estudo, percebeu-se, como observação mais importante, que as cargas reais de laminação são diferentes das calculadas. A partir daí, partiu-se para uma investigação das causas dessas diferenças, sem chegar a resultados conclusivos.

A principal contribuição ao estudo foi dada por Misaka e Yoshimoto.<sup>(2)</sup> Segundo os autores, quando se tem o propósito de prever as cargas de laminação é conveniente formular a resistência de deformação a quente como uma função dos parâmetros de laminação e composição química do aço. Assim, a resistência à deformação a quente  $K_{fm}$ , para uma deformação  $e$ , uma velocidade de deformação  $\dot{\epsilon}$ , um teor de Carbono  $C$  e a temperatura  $T$  em Kelvin é dada pela Equação 1:

$$K_{fm} = \exp\left(0,126 - 1,75C + 0,594C^2 + \frac{2851 + 2968C - 1120C^2}{T}\right) \cdot \epsilon^{0,21} \cdot \dot{\epsilon}^{0,13}$$

Por fim, optou-se por uma abordagem empírica para trabalhar os casos críticos. Uma observação importante diz respeito à potência exigida de cada cadeia. Seu cálculo é definido pela Equação 2:

$$P = V \times I_a \quad \text{se } \omega \leq 1000 \text{ rpm}$$

$$P = K_\phi \times \omega \times I_a \quad \text{se } \omega > 1000 \text{ rpm}$$

Outra observação diz respeito à potência eficaz. Segundo Augusto Jr. et al.,<sup>(3)</sup> o conceito de potência eficaz,  $P_{ef}$ , do motor de ciclo intermitente e cargas variáveis, com tensão e rotação constantes e ventilação normal é justificado pela igualdade da quantidade de calor, gerado pelas perdas na condição de potência constante e nominal durante um determinado período e a quantidade de calor gerado pelo mesmo motor submetido ao ciclo intermitente, durante o idêntico período. A Equação 3 descreve matematicamente essa definição:

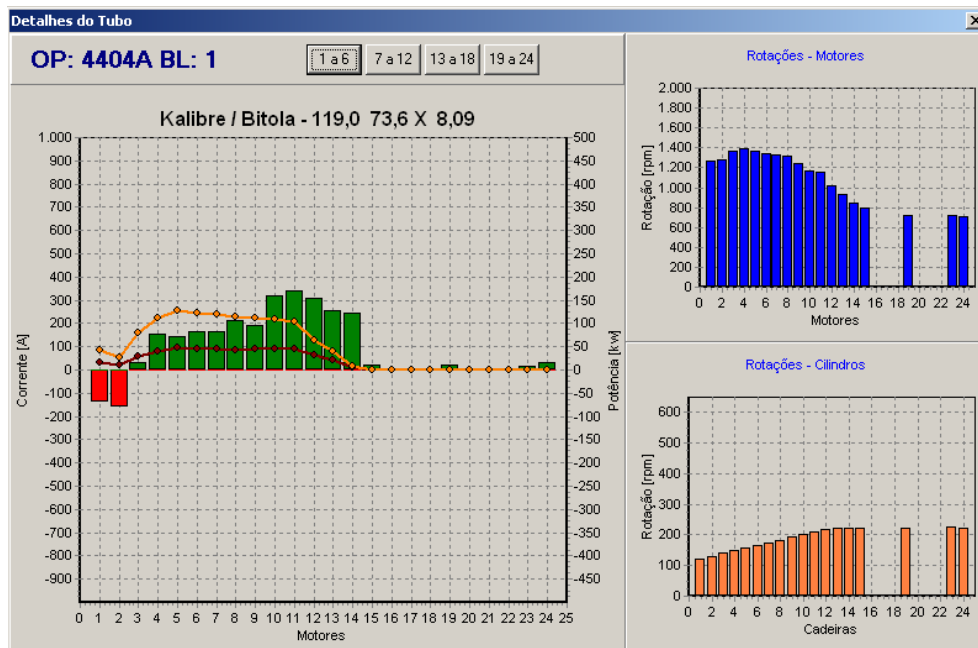
$$P_{ef} = \sqrt{\sum \frac{P_i^2 \times \Delta t_i}{T}}$$

Onde  $P_i$  indica a potência constante  $i$ ;  $\Delta t_i$  seu respectivo intervalo de duração; e  $T$  o somatório de  $\Delta t_i$ .

Como a operação do laminador é em ciclos, não basta uma corrente pontual alta para que haja impacto no sistema. É preciso que seja feita com recorrência, em intervalos de tempo pequenos de forma que o sistema de resfriamento não consiga dissipar o calor gerado. Assim, apesar de toda análise ser baseada em corrente, o indicador gerado deverá avaliar potência eficaz, que é propriamente o que degrada tanto o sistema mecânico quanto elétrico do laminador.

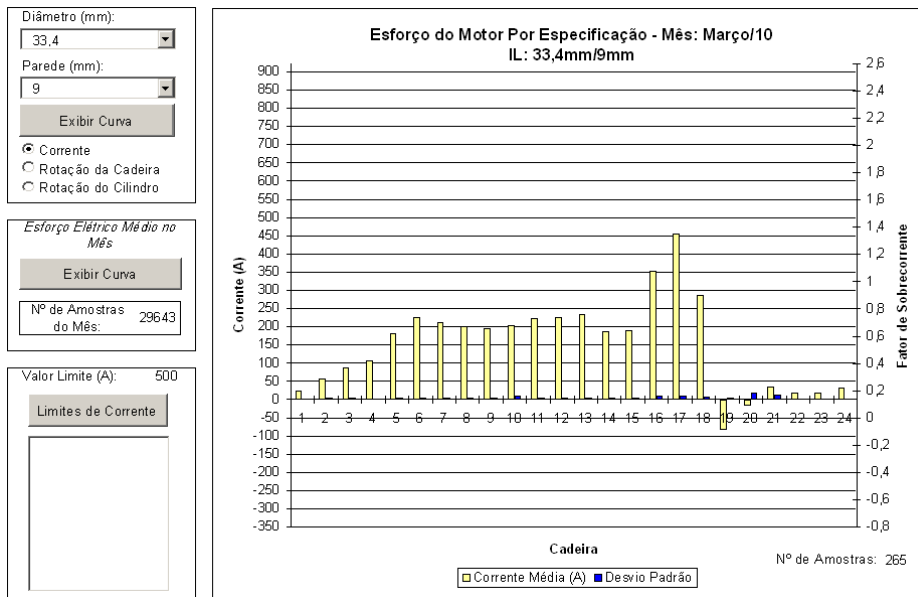
## 2 METODOLOGIA

Como, no projeto, o interesse principal é no perfil de corrente em função das cadeiras e não do tempo, uma melhor representação do comportamento do laminador é ilustrado na Figura 2. Para a curva de correntes x cadeira, cada uma das posições é calculada pela média dos pontos no tempo, caso esse ponto esteja dentro de uma faixa definida (+ ou - 10% da média de todos os pontos). Todas as análises posteriores são feitas com base nestes três gráficos (corrente, rotação dos motores e rotação dos cilindros em função da posição).



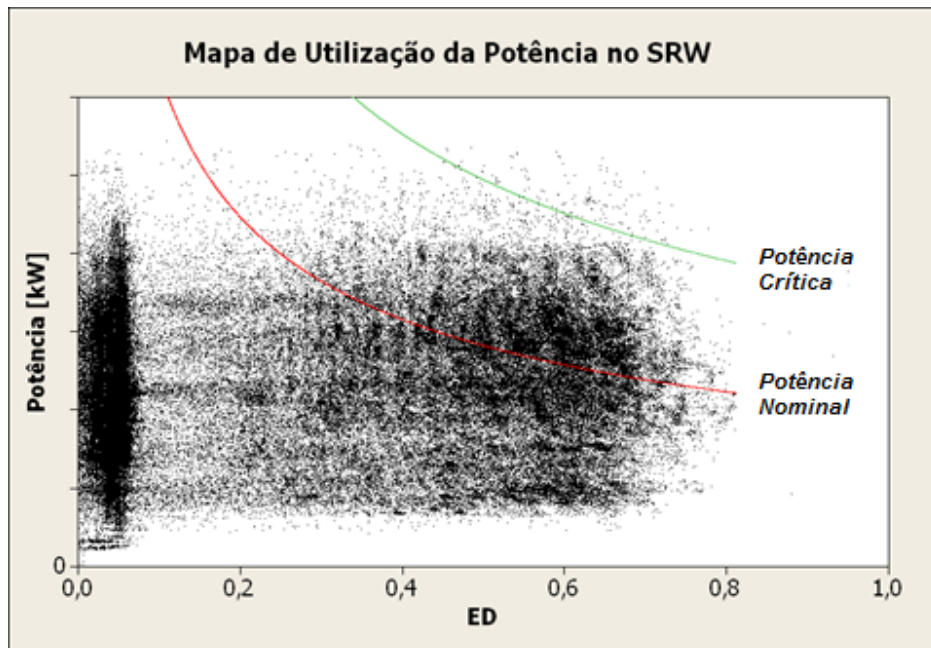
**Figura 2.** Perfil de Correntes e Rotações em função das Posições no laminador.

Nesse ponto, surgiu a necessidade de agrupar ordens com características idênticas (Diâmetro e Parede) para avaliar a repetibilidade das correntes. Para isso, foi criado um programa em Excel que agrupa todos os diâmetros e paredes iguais e é possível visualizar a média e desvio padrão para uma análise preliminar. Um exemplo desse programa é mostrada na Figura 3. Com esse programa é possível comparar correntes, rotações dos motores e dos cilindros para os diferentes tubos de mesmo diâmetro e parede.



**Figura 3.** Programa Excel para Análise de Correntes.

Após algum tempo de coleta e formação do banco de dados, foi possível gerar um mapa de utilização de potências do laminador em função do ciclo operacional (ED) e constatou-se que cerca de 15% dos tubos laminados exigiam mais que a potência nominal de pelo menos um motor (Figura 4).



**Figura 4.** Utilização de Potências do Laminador SRW.

A identificação dos casos críticos partiu de uma análise estatística que mostra no mapa tridimensional da Figura 5 a distribuição de esforços em função do diâmetro e parede.

Percebeu-se que os maiores esforços, sem perda de generalidade, ocorriam nas maiores paredes de cada diâmetro.

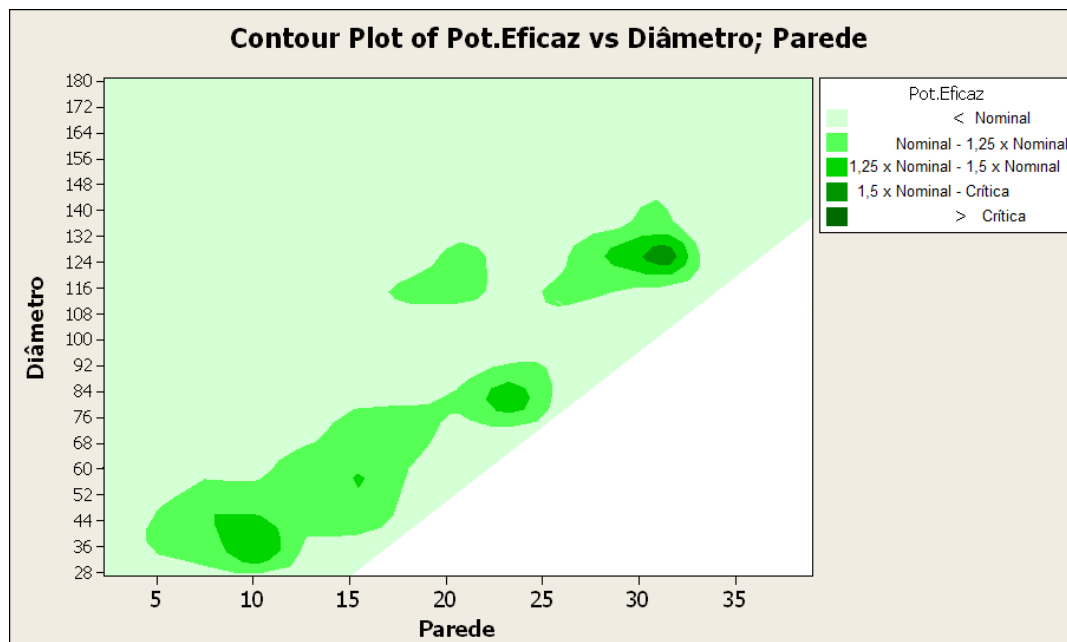


Figura 5. Mapa de esforços de Laminação.

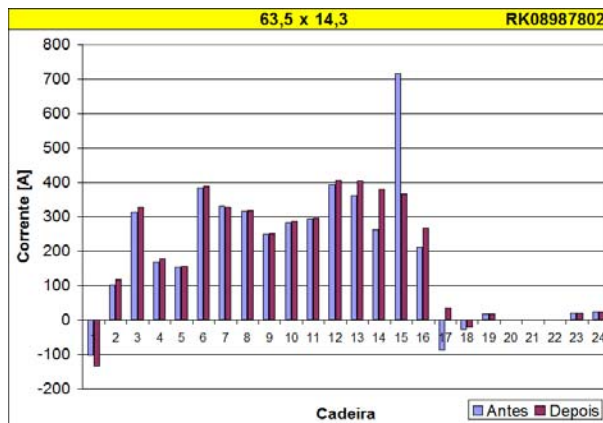
Com isso, e baseado em observações pontuais, chegou-se a Tabela 1.

Tabela 1. Cabeçalho da tabela de levantamento de sobrecarga

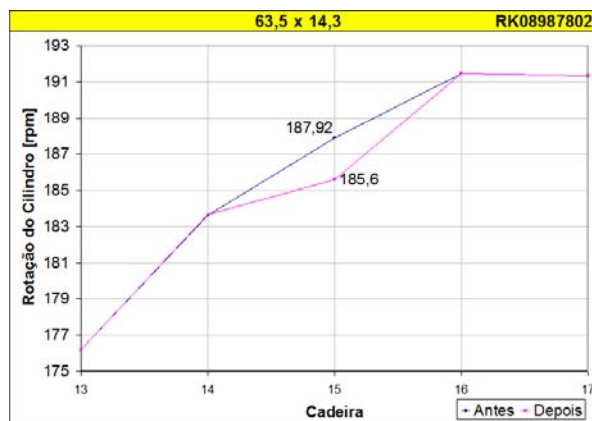
Calibre (mm)	SK	Ø (mm)	Parede > (mm)	Cad [k]
--------------	----	--------	---------------	---------

Na Tabela 1, foram listados todos os diâmetros problemáticos, a partir de qual parede o esforço de laminação, com base na corrente, excedia um limite aceitável e qual cadeira de laminação apresentava tal desarmonia.

A idéia de correção baseou-se no princípio observado empiricamente de que pequenas alterações na rotação dos cilindros de laminação, e conseqüentemente dos motores das cadeiras críticas geram grandes reduções de sobrecarga, conforme ilustra o exemplo da Figura 6. Nela, é possível perceber que a cadeira 15 apresentava uma corrente acima de 700A e com uma redução de 1,2%, explicitada pela Figura 7, passando de 187,92 rpm para 185,60 rpm, a corrente na cadeira crítica reduziu 50%, passando para aproximadamente 360A.

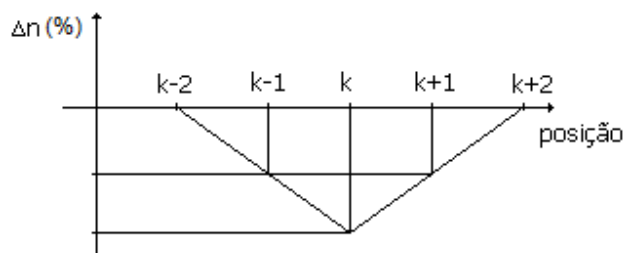


**Figura 6.** Efeito da atuação nas rotações sobre o esforço de laminação.



**Figura 7.** Correção de rotação.

De forma a evitar um efeito de descontinuidade na curva de rotação por cadeira, optou-se por uma redução maior na rotação da cadeira crítica e uma redução menor nas adjacentes (Figura 8), onde  $n$  é um percentual de rotação a ser reduzido e  $k$  é a posição crítica, ou com sobrecarga.



**Figura 8.** Proposta de correção de rotações para evitar descontinuidade da curva.

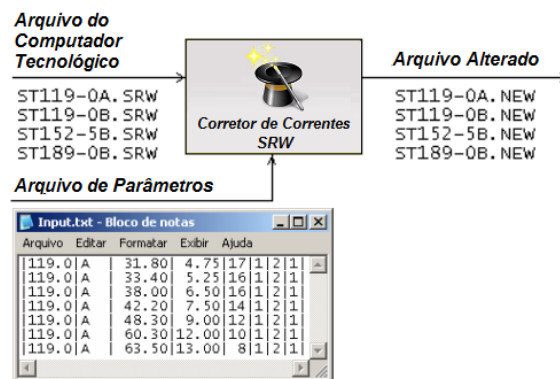
Após observações e testes empíricos (tentativa-e-erro), chegou-se à Tabela 2.

**Tabela 2.** Cabeçalho da tabela de correções de sobrecarga

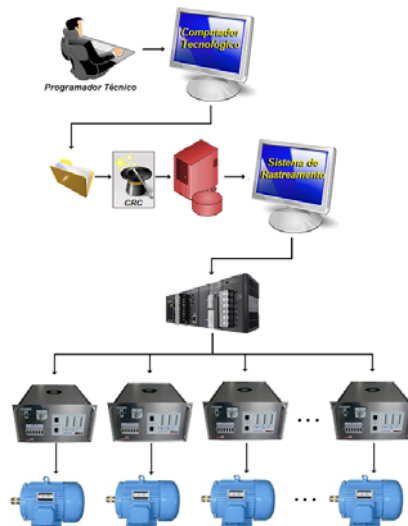
Calibre (mm)	SK	Ø (mm)	Parede > (mm)	Cad [k]	$\Delta n$ [k-1] (%)	$\Delta n$ [k] (%)	$\Delta n$ [k+1] (%)
--------------	----	--------	---------------	---------	----------------------	--------------------	----------------------

Com a Tabela 2 pronta, os arquivos com as rotações do SRW gerados pelo programa executado no computador tecnológico responsável pelos cálculos da receita de laminação foram convertidos por um programa para correção de correntes, desenvolvido durante o trabalho de forma a gerar um novo arquivo alterado. Esse programa toma como entradas os arquivos de calibração que contém, além de outras informações, as rotações padrões de cada cadeira para um determinado produto, e um arquivo com os parâmetros a serem alterados, definidos pela tabela cujo cabeçalho foi mostrado acima. A partir daí, são feitas alterações no arquivo, que gera novos arquivos de saída que são, então, transferidos manualmente para o sistema de rastreamento. Essa descrição é sintetizada pela Figura 9.

A Figura 10 ilustra a topologia do sistema. Percebe-se o sistema tecnológico gerando os arquivos com as rotações do laminador. Esses arquivos passam pelo programa de correção de correntes que os altera conforme definições de desarmonia e gera um novo arquivo que é enviado ao banco de dados Oracle. Essas informações do banco de dados são utilizadas pelo sistema de rastreamento que as repassa para o PLC do laminador. Por fim, o PLC envia os dados de rotação alterados para os conversores LogiDyn responsáveis pelos acionamentos dos motores do laminador.



**Figura 9.** Programa para alteração do arquivos originais de rotação.



**Figura 10.** Topologia de funcionamento do sistema.



Por fim, com o objetivo de avaliação dos resultados, foi criado um indicador com base na Equação 4:

$$\text{Sobrecarga}_{baixa} [\%] = \frac{\sum t_{baixaW}}{\sum t_{total}}, \text{ onde } t_{baixa} \text{ são tempos com } P_{ef} \text{ Nominal} \leq P_{ef} \leq \text{Limite Pot. Crítico}$$

$$\text{Sobrecarga}_{alta} [\%] = \frac{\sum t_{alto}}{\sum t_{total}}, \text{ onde } t_{alto} \text{ são tempos com } P_{ef} > \text{Limite Pot. Crítico}$$

### 3 RESULTADOS

A equação de Misaka possibilitou uma melhora na predição dos esforços de laminação (Figura 11). A principal contribuição dessa melhoria foi a possibilidade de prever o comportamento dos esforços para o desenvolvimento de novos produtos. Assim, sempre que casos críticos surgirem, será possível preparar alterações na calibração de forma a evitar sobrecargas. Isso, além de proteger o laminador, permite o desenvolvimento de produtos mais rapidamente, visto que não é necessário ajustar essas curvas na tentativa-e-erro. Esses resultados, no entanto, apenas ajudam a prever o comportamento, visto que ainda faltam variáveis a serem inseridas no modelo.

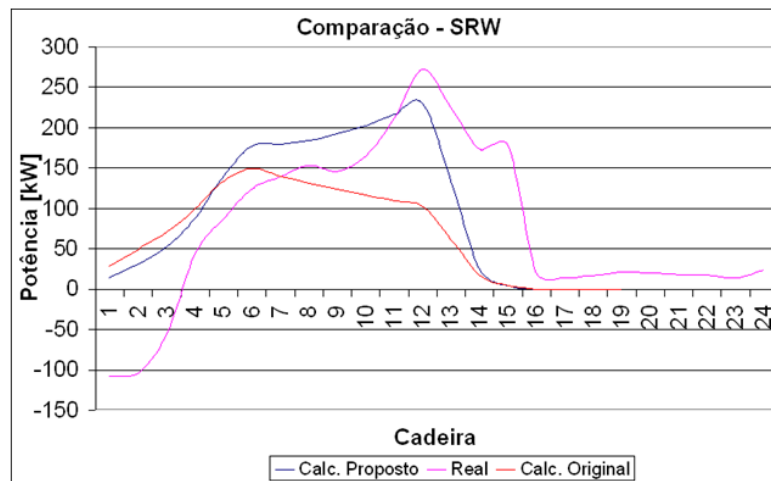
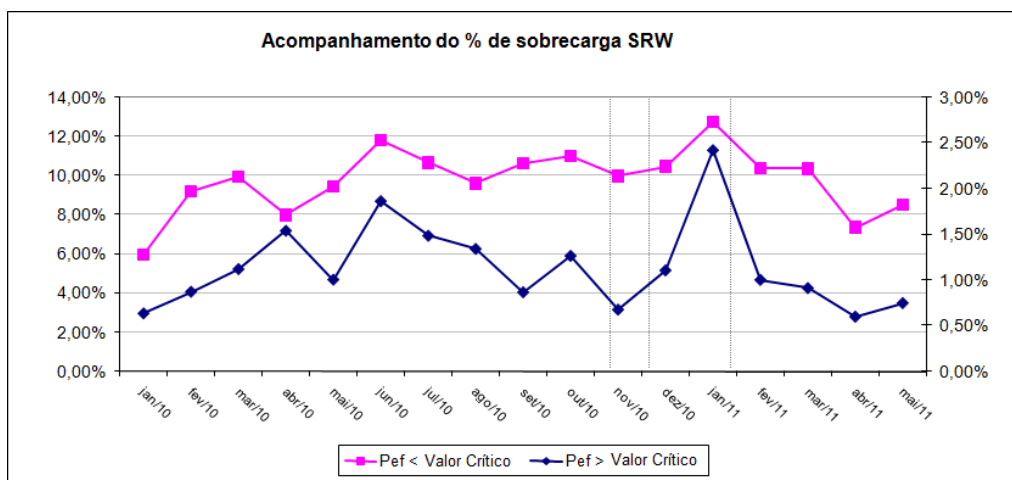


Figura 11. Comparação entre cálculos e esforços reais.

A partir da utilização do indicador, foi possível verificar e acompanhar o desempenho do laminador por períodos antes e depois das modificações. A Figura 12 mostra na curva inferior, com escala à direita, os níveis de sobrecarga críticos. Esses níveis são considerados críticos tanto para os componentes elétricos como motores e conversores, quanto para os mecânicos como transmissões, redutores e acoplamentos. Para essa faixa de trabalho, percebe-se que houve uma redução dos tempos em sobrecarga, com apenas um ponto fora da curva ocorrido em janeiro/10, que coincide com um ponto de produção fora da curva, visto que houve uma parada de 15 dias para manutenção.

Desconsiderando esse ponto, houve uma redução de aproximadamente 40% nos níveis críticos de sobrecarga. Caso, esse ponto seja levado em consideração, houve uma redução de 10%.

A curva superior, com escala à esquerda, por sua vez, mostra os níveis de sobrecarga menos críticos. Esses níveis, apesar de não poderem ser desprezados, são menos danosos ao sistema, principalmente do ponto de vista mecânico. Percebe-se que houve uma estabilidade devido a dois fatores. O primeiro justifica-se porque o foco principal do trabalho foram os casos críticos e, provavelmente, várias calibrações que não apresentavam graves problemas ficarem de fora das alterações. O segundo é justificado pelo fato de muitas sobrecargas que antes estavam na faixa mais crítica, após serem trabalhadas, caíram, mas não para níveis nominais e sim, para a faixa menos crítica, o que impactaria negativamente no segundo indicador.



**Figura 12.** Acompanhamento do indicador de sobrecarga.

Cabe lembrar na avaliação de resultados que nem todas as sobrecargas são devidas a problemas de calibração do laminador. Existem registros de problemas de sobrecarga causados por encoders e placas eletrônicas de contagem de pulsos com defeito, mal funcionamento de software em algumas condições pouco utilizadas, cadeiras de laminação em posições erradas, agarramentos mecânicos, entre outros. Além disso, esses resultados não são definitivos e mais análises deverão ser feitas com o passar dos meses.

A análise dos percentuais de *breakdown* dos principais componentes do laminador afetados pela sobrecarga (Figura 13), também indicam avanços. Desconsiderando o ano atípico de 2009, quando houve tempo muito maior para manutenções, devido à crise econômica mundial, percebe-se que todos os indicadores apresentam melhoras. As paradas devido a problemas com transmissões e cardans estão em níveis 50% menores do que do ano passado e 60% em relação a 2008. É notada uma queda nas paradas por acionamentos defeituosos de 6% em relação ao 2010 e de 32% em relação a 2008. As paradas por problemas mecânicos em redutores e caixas angulares ainda não ocorreram em 2011. Por fim, problemas na estrutura do laminador também estão menores.

É importante deixar claro que essa melhora nos indicadores não é única e exclusivamente devida ao trabalho apresentado. Soma-se a ele ações do Grupo de

Melhoria Contínua para redução do breakdown do laminador e ações pontuais para problemas específicos. De qualquer forma, percebeu-se uma redução, até o presente momento, de 30% nas paradas do laminador. Estimando-se conservadoramente que apenas 15% dessa redução seja devido ao presente trabalho, ainda assim, tem-se uma economia devido à disponibilidade do laminador de 600 kR\$/ano.

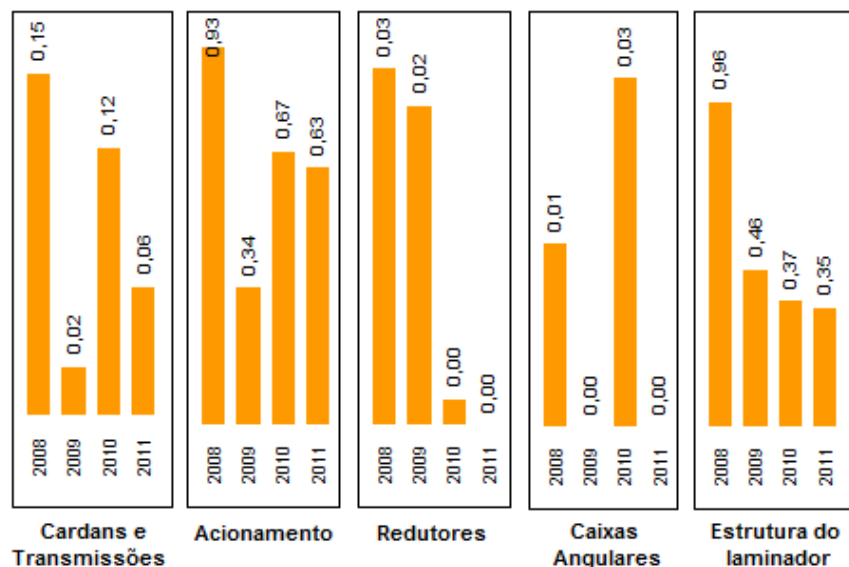


Figura 13. Acompanhamento dos indicadores de *breakdown*.

#### 4 DISCUSSÃO

- Não se sabe até o momento o motivo das desarmonias causadas no laminador para alguns produtos. A primeira suspeita é relacionada à temperatura, visto que como os cilindros de laminação são refrigerados a água, pode haver grande troca térmica entre os cilindros e o tubo, fazendo com que haja recristalização dinâmica, o que elevaria o esforço. Essa suspeita, sozinha, não justifica o evento, já que a curva de esforços deveria aumentar gradativamente em função da cadeia e não, em apenas uma. Outra observação foi que, em geral, a desarmonia ocorria na transição das cadeiras básicas para as acabadoras, o que pode indicar alguma descontinuidade no cálculo de rotações ou diâmetros. No entanto, como no cálculo teórico de esforços essa desarmonia não ocorre, não se sabe ao certo o que acontece;
- não se sabe o motivo de pequenas reduções de rotações dos cilindros gerarem grandes reduções de corrente;
- não foram encontradas na literatura citações sobre desarmonia de cargas de laminação; e
- o trabalho foi desenvolvido com base em um banco de dados estático, ou seja, uma vez definidas as alterações, elas são guardadas e executadas para sempre. Outra alternativa seria a correção automática das desarmonias. No entanto, não foi escolhida pelo fato de haver muitos outros problemas que causam sobrecarga, o que poderia esconder tais eventos ou gerar problemas ainda maiores.

## 5 CONCLUSÃO

Esse trabalho se tornou possível apenas após a implementação de um sistema de automação capaz de coletar e armazenar dados em alta frequência. Esse sistema, atualmente, ajuda muito no diagnóstico de defeitos, já que é possível avaliar as características das curvas e associá-las a problemas.

A interface entre conhecimentos de Engenharia Elétrica e Automação com Conformação Mecânica contribuiu bastante para o desenvolvimento do trabalho, principalmente no que tange a implementação da solução. Sem a teoria de laminação, não seria possível sequer verificar se o comportamento das curvas de esforço estavam corretas. Em contrapartida, sem as alterações nos sistemas de Automação, a implementação seria demorada e os resultados, conseqüentemente, também tardariam a surgir.

Os resultados desse trabalho devem ser constantemente avaliados e, sempre que novos casos de desarmonia causados por calibração surgirem, deve-se identificá-los e corrigi-los na base de dados. Com isso, esperam-se ganhos ainda maiores com o passar do tempo.

## REFERÊNCIAS

- 1 Macrea,D, Cepisca,C, Grigorescu,S, Required Energy Calculation by Hot Rolling of Tubes and of the Main Drive Motors Power for a Stretch Reducing Mill, *WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS*, Issue 5, Volume 3, May 2008, pp.320-329.
- 2 Y. Misaka and Y. Yoshimoto. Formularization of mean resistance to deformation of plain carbon steels at elevated temperature. *Journal of The Japan Soc. Tec. Plasticity*, Volume 8, p. 414.
- 3 Augusto Jr., N. ; Chabu, I. E.; Santos Jr., C. M.. Dimensionamento e viabilidade econômica de motores de alto rendimento . *Revista Eletricidade Moderna*, São Paulo, n. Março/2002, p. 110-128, 2002.