

CONTROLE DO SISTEMA DE RECUO DINAMICO DA PONTA DE PERFURAÇÃO NA LAMINAÇÃO OBLÍQUA DE TUBOS PELO MÉTODO DE SERIES TEMPORAIS NA V&M DO BRASIL¹

Júlio César Ferreira ²
Marcelo Jardim de Souza ³
Marc Gonçalves Garcia ⁴
Giovane Alves Reis ⁵

Resumo

O objetivo deste trabalho é desenvolver o controle automático do sistema de recuo dinâmico da ponta de perfuração no laminador perfurador da V&M do Brasil, visando uma redução no alongamento do material apenas na parte posterior do corpo laminado. Para a operação deste sistema, é necessário se ter uma boa estimativa a priori do tempo total de laminação, seja esta obtida por modelagem ou por instrumentação direta no laminador. Para evitar a instrumentação física, que aumenta a complexidade do laminador, e conseqüentemente os custos de manutenção, foi desenvolvido um modelo de previsão por séries temporais, capaz de gerar a informação necessária para o cálculo do setup do momento de atuação do sistema, eliminando a necessidade de intervenção do operador e de instrumentação física adicional. Com isso, obteve-se uma redução do retrabalho por defeito interno, além da redução do nível de interrupções por agarramento da lupa na guia de laminação.

Palavras-chave: Tubo sem costura; Controle estatístico de processo; Automação.

TIME SERIES APPROACH FOR AUTOMATIC PIERCING POINT RECOIL SYSTEM IN SEAMLESS PIPE PIERCER MILL AT V&M DO BRASIL

Abstract

The main goal of this paper is to present the development of an automatic controller for the dynamic piercing point recoiling, at the Piercer Mill of V&M do Brazil. This recoiling is done in order to decrease the elongation at a specific moment on the tail end of the hot rolled hollows. For the system correct operation, an a priori estimate of the rolling time is necessary, which can be obtained by process modeling or by physical instrumentation. The main advantages of the modeling choice are the lower costs of implementation and maintenance, so a time series modeling approach was developed and validated for this application. In a second step, the model was translated to the mill automation system for automatic setup calculation, eliminating manual interventions for this operation. Savings were achieved by the product rework rate due to internal defects and a decrease of the number of jammed hollows due to irregular back end at the Piercing Mill.

Key Words: Seamless pipes hot rolling; Statistical process control; Automation.

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

² Engenheiro de Produção (V&M do Brasil)

³ Engenheiro de Automação (V&M do Brasil)

⁴ Estudante de Engenharia Mecânica e Estagiário (V&M do Brasil)

⁵ Técnico em Manutenção Mecânica (V&M do Brasil)

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto é a automatização do sistema de recuo dinâmico da ponta de perfuração do laminador perfurador oblíquo, visando a redução do alongamento na parte posterior da lupa laminada. Este procedimento é importante para melhorar a qualidade geométrica e superficial da região posterior da lupa, que é um fator importante para o bom desempenho da linha de laminação de tubos sem costura.

Durante o processo de perfuração, tem-se um desprendimento de fragmentos da peça (ruptura) na porção posterior da lupa (pé), devido ao aumento da criticidade das condições operacionais da laminação, tais como: aumento da temperatura do material presente na região de conformação devido à dissipação da energia gerada na conformação; características específicas do produto laminado (bitola, espessura de parede e grau do aço), além das condições de homogeneidade de temperatura do bloco. Quando este desprendimento é incompleto, o fragmento da peça pode trazer diversos problemas operacionais, tais como:

- agarramento da peça na saída do laminador perfurador;
- danos nos cilindros de trabalho dos laminadores perfurador, alongador e alisadores;
- geração de defeitos internos; e
- choque de fragmentos com o sistema de medição de diâmetro/espessura (IMS).

Além disso, a utilização deste recuo dinâmico da ponta pode melhorar um defeito interno denominado “corte de ponta”, que pode ocorrer na porção final das, quando se tem certas combinações de expansão e alongamento. Podem ocorrer dois efeitos com relação a este problema:⁽¹⁾ i) o aumento da redução de diâmetro de bloco no bico da ponta pode aumentar este defeito, visto que os trabalhos da sua redução foram no sentido contrário (de avanço da ponta de perfuração); ou, ii) a redução do alongamento do material durante a laminação pode ser benéfica, pois o defeito ocorre somente em condições de alta deformação. Portanto, deve ser constatado empiricamente se o sistema de recuo dinâmico trará uma melhoria ou uma piora na qualidade superficial interna dos tubos.

As condições críticas acima mencionadas se acentuam na porção final do tubo, onde a espessura de parede é mais fina que a média da lupa, devido à dilatação térmica da ponta, além da instabilidade da ponta de perfuração no final da laminação, quando as guias estabilizadoras já estão abertas, deixando o conjunto ponta de perfuração + biela com maior liberdade de deslocamento em relação ao centro de laminação.

O sistema de recuo dinâmico é amplamente utilizado em laminadores perfuradores oblíquos com sistema de guias do tipo “discos”. Nestes sistemas, existe uma folga grande entre a guia e o cilindro de laminação, tornando mais crítico o risco de agarramento da lupa na saída do laminador. No caso da V&M do Brasil, o laminador perfurador tem seu sistema de guias do tipo “sapatas”, que em princípio tem a vantagem de estas apresentarem folgas pequenas com o cilindro de trabalho, se comparadas com os discos-guia, o que minimiza, mas não elimina o risco de agarramento da lupa na saída do laminador.

Todavia, devido às limitações de calibragem e características dos equipamentos da Laminação Automática da V&M do Brasil, é de grande importância verificar a eficácia deste sistema em termos de qualidade e de produtividade citados anteriormente, para a adoção definitiva do sistema de recuo dinâmico da ponta de perfuração em um laminador com sistema de guias do tipo sapatas.

1.1 Conceitos

O laminador perfurador oblíquo é capaz de conformar uma barra maciça numa barra oca, consistindo na primeira etapa dos processos de laminação de tubos sem costura. Este tipo de laminador é dotado de um arranjo de cilindros paralelos ao sentido de laminação, e inclinados no plano perpendicular a este. Esta configuração permite que a barra tenha duas componentes: rotação e avanço. O avanço da barra ocorre simultaneamente com a redução do seu diâmetro, o que provoca esforços de compressão nas bordas, e de tração no núcleo da barra – o chamado efeito “Mannesmann” – provocando a abertura do núcleo da mesma. A ponta de perfuração tem a função de guiar este processo de conformação, garantindo o diâmetro interno e externo desejados. A Figura 1 mostra o arranjo do cilindro de trabalho e da ponta de perfuração no laminador. O Ponto alto do cilindro de laminação (*Hoher Punkt*) representa a fronteira entre a região de entrada do cilindro (onde ocorre o efeito mannesmann e a perfuração do bloco) e a região de saída, onde ocorre a expansão do diâmetro e a conformação da espessura de parede desejada. A cota “b” do desenho representa o avanço da ponta em relação ao ponto alto. Tal cota é ajustada para o balanceamento ótimo entre a não ruptura precoce do bloco com a estabilidade para mordida e início de perfuração, determinada pela área de redução do diâmetro do bloco antes da ponta de perfuração, que é a cota “a”.

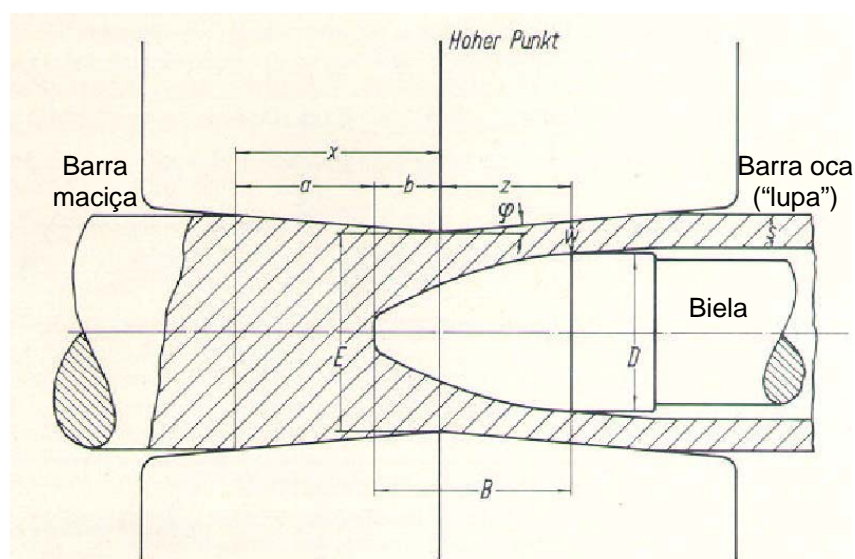


Figura 1. Desenho esquemático do processo de perfuração.

A biela tem a função de suportar a ponta de perfuração durante o trabalho de conformação na posição determinada pelo operador para que seja fabricada a espessura de parede desejada. Este trabalho trata do sistema mecânico que realiza o ajuste da posição da biela, e conseqüentemente da ponta de perfuração, denominado sistema contra mancal. São apresentados a seguir os principais conceitos relacionados ao contra mancal, mencionados ao longo deste artigo:

- Carro contra mancal: caixa de rolamentos axiais e radiais que permite o giro livre do conjunto biela-ponta de perfuração. Sua translação é acionada eletricamente por um sistema de dromo e cabos de aço.
- Trava do carro: estrutura responsável pela fixação do carro contra mancal durante o trabalho de laminação. É dotada de cilindros hidráulicos que travam

o carro contra mancal na correta posição de laminação. Tal posição possui ajuste fino, determinado pelos valores de regulagem da posição da biela, com curso total de 350 mm.

- Cilindro *Plunger*: cilindro hidráulico especial de simples ação que suporta altos valores de pressão hidráulica. É montado entre a trava do carro e o fuso de regulagem da posição da biela.

1.2 O sistema *Plunger*

O sistema *Plunger* é o sistema mecânico responsável pelo recuo dinâmico do conjunto biela + ponta de perfuração, e está localizado na trava do carro do contra-mancal do laminador perfurador. O desenho da Figura 2 mostra a localização do cilindro *Plunger* no sistema mecânico do contra-mancal do laminador perfurador.

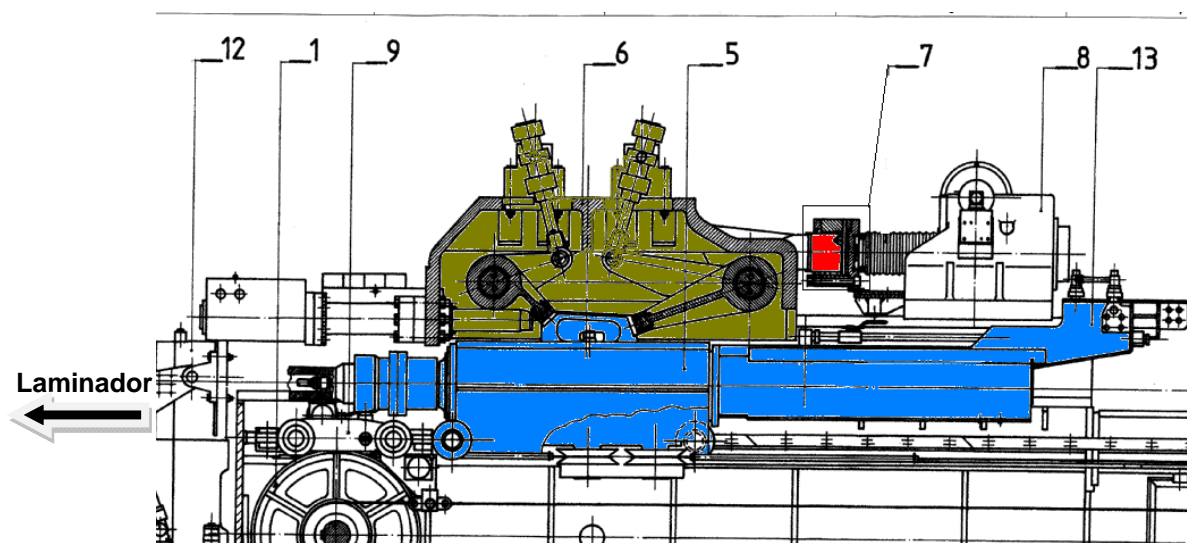


Figura 2. Desenho esquemático do contra mancal na posição de trabalho.

Principais referências no desenho:

- carro contra mancal (posição 5 em verde);
- trava do carro (posição 6 em azul);
- cilindro *Plunger* (posição 7 em vermelho); e
- fixação da biela no contra mancal (posição 9 em azul).

Nesta configuração, o sistema hidráulico do *Plunger* é capaz de realizar o recuo dinâmico da biela durante a laminação, sem a necessidade de completo destravamento do carro contra mancal da sua trava. Caso a pressão interna do cilindro do *Plunger* ultrapassar um determinado valor, a válvula limitadora do bloco libera parte do óleo para tanque, preservando o sistema.

No instante da perfuração estipulado para acionamento do recuo do sistema, o comando elétrico da válvula de assento do bloco *Plunger* é retirado, e o fluxo de óleo é direcionado para tanque. Neste momento o cilindro *Plunger* cede e todo o conjunto (trava do carro, carro contra mancal, biela e ponta de perfuração) recua, propiciando o recuo da ponta de perfuração e conseqüente redução no alongamento, e com isso, um aumento da espessura da parede da lupa. A perfuração termina, e o laminador em seguida remove a lupa e se prepara para o próximo ciclo.

O sistema de recuo dinâmico depende do tempo de laminação para realizar o comando na válvula no momento certo para o seu acionamento. Geralmente utiliza-se um sensor ótico no funil guia de entrada do laminador, capaz de detectar o final da barra durante a laminação. No entanto, este sistema físico é passivo de manutenção preventiva, além de não dispor de ajuste variável, sendo necessário realizar fortes considerações para sua realização destes ajustes, como por exemplo, coeficiente de eficiência de avanço constante.

Neste trabalho, será desenvolvida uma abordagem de controle baseada num modelo de previsão que considera as condições instantâneas do processo, de forma a se obter o melhor valor possível de ajuste do tempo de acionamento do sistema *Plunger*, para cada peça laminada, sem a necessidade de instrumentação física adicional no laminador.

O ajuste dinâmico é necessário e de extrema importância no caso do Laminador perfurador da V&M do Brasil, devido a algumas restrições de construção do mesmo, no intuito de reduzir a ocorrência de defeitos internos denominados como “corte de ponta”, causados por certas combinações de expansão de diâmetro e de alongamento na perfuração. Por isso, além de ter uma redução nos itens de manutenção do sistema *Plunger*, é esperado um ganho na redução de retrabalho por defeitos internos nos tubos laminados.

1.3 Abordagens para o Setup do *Plunger*

A regulagem do sistema é composta de duas condições para o cilindro *Plunger*: avançado ou recuado. A complexidade da regulagem está no instante de acionamento do recuo da biela durante a laminação. Este instante deve considerar o atraso no tempo de resposta do sistema, desde o comando do CLP até a atuação das válvulas de comando do cilindro hidráulico. São propostas duas condições de regulagem:

1. Regulagem proporcional, em que o comprimento da lupa é proporcional ao tempo em que o *Plunger* atua sobre o produto. Neste caso, a porção de parede mais espessa da lupa é proporcional ao seu comprimento final planejado;
2. Regulagem *Offset*, em que o tempo de atuação do *Plunger* é fixo, independente do comprimento do material produzido. Neste caso temos a porção de parede mais espessa da lupa constante, ou seja, independente do seu comprimento total.

A complexidade de modelamento em ambos os casos é semelhante, pois nelas deve-se estimar o tempo de laminação da peça antes da mesma acontecer, e calcular o tempo desejado para o recuo da ponta durante a laminação. A correção *offset*, segundo a experiência dos operadores oferecerá melhor ajuste para correção de defeito interno, pois a incidência dos mesmos é numa região do tubo de comprimento aproximadamente constante, e independente do comprimento da peça. Portanto, este será o tipo de regulagem a ser utilizado.

2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO

Será proposto o modelo com boa parcimônia, e de fácil programação computacional. Em seguida, serão propostas janelas de trabalho, evitando-se valores espúrios, que podem porventura acontecer em função de interrupções, agarramentos de peça, dentre outras causas assinaláveis de erro de registro do tempo de laminação na base de dados real.

Para a completa automatização do sistema *Plunger*, são necessárias as seguintes informações:

1. Tempo de Laminação da Peça a ser laminada (previsto); e
2. Tempo para abertura do *Plunger*.

O item 2, deverá ser estimado em função da necessidade de correção dos defeitos de qualidade e do tempo de resposta do sistema de acionamento. Com relação à qualidade, é desejado que o *Plunger* esteja recuado nos dois últimos metros da peça laminada. Assim, o tempo de laminação previsto será estimado, e deste tempo será subtraído o tempo relativo aos dois últimos metros da peça.

2.1 Construção das Equações do Modelo

O modelo consiste em duas etapas: a primeira etapa, representada pelas três primeiras caixas no diagrama da Figura 3, tem o objetivo de se obter uma estimativa para o tempo de laminação da peça a laminar. Já a segunda etapa, que corresponde às duas últimas caixas, utiliza a previsão do tempo de laminação para o cálculo do tempo para acionamento do *Plunger*, e o envio desta informação ao CLP do laminador.

Para o cálculo da previsão do tempo de laminação, inicialmente considera-se a razão teórica de tempo de laminação corrigida pelo peso real da última peça laminada até o tempo \bar{t} (chamada de $\Delta\tau_i'$ no diagrama). Tal informação é considerada para o cálculo da razão teórica do tempo de laminação corrigida para o processo no tempo \bar{t} (chamada de $\Delta\tau_i$ no diagrama). A diferença básica entre $\Delta\tau_i'$ e $\Delta\tau_i$ é que a primeira representa o desvio do tempo de laminação em relação ao tempo teórico para a última peça laminada, e o segundo é um modelo estatístico de séries temporais do primeiro, que tem significado mais abrangente, sendo uma estimativa da razão entre o estado do processo teórico e real em termos de eficiência de avanço, e conseqüentemente em termos de tempo de laminação.

Esta informação é então filtrada, de forma que sejam evitadas interferências de perturbações inerentes ao processo, tais como laminação de peça fria e mudança abrupta de regulagem. O cálculo da estimativa de tempo da peça será o tempo teórico para a peça, multiplicado pela variável de estado do processo representado pelo valor de $\Delta\tau_i$.

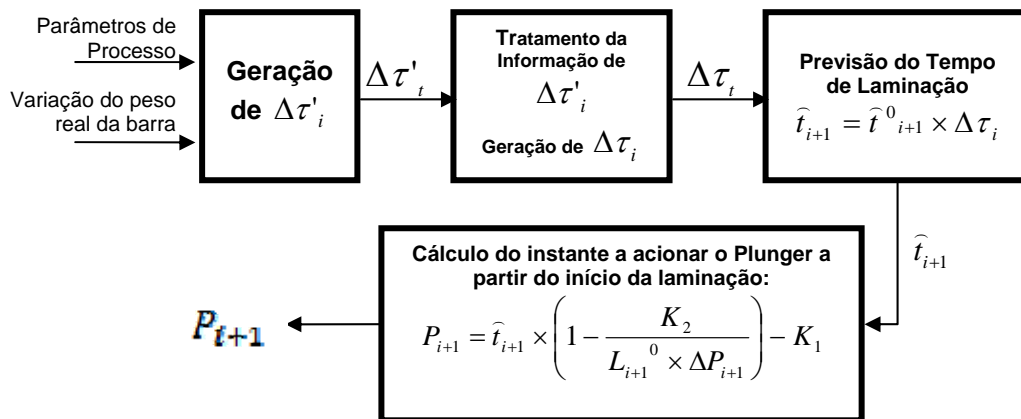


Figura 3. Fluxograma de Cálculo do modelo.

A segunda etapa do modelo consiste em considerar o tempo previsto de laminação para a peça obtido na primeira etapa dos cálculos, denominado por t_{i+1}^0 no diagrama, e considerá-la na determinação do tempo para acionamento do sistema Plunger (P_{i+1}), e o seu envio ao CLP como parâmetro para a laminação da próxima peça, a ser realizada no instante $t + 1$.

Descrição dos parâmetros e variáveis de cálculo do tempo para acionamento do Plunger.

- $\Delta\tau'_i$: Razão de desvio do tempo previsto de laminação
- $\Delta\tau_i$: Razão de desvio do tempo previsto de laminação filtrado
- t_i : Tempo real de laminação
- \hat{t}_i : Tempo de laminação previsto para a peça no instante t
- \hat{t}_i^0 : Tempo de laminação teórico para a peça no instante t
- ϕ : Diâmetro do cilindro do laminador
- φ : Ângulo de inclinação do cilindro de trabalho
- η : Constante de eficiência de avanço
- f : Rotação do laminador
- ΔP_i : Razão entre os pesos real e medido para a peça
- L_i^0 : Comprimento previsto para a lupa
- K_1 : Comprimento da porção do tubo a ter a espessura aumentada
- K_2 : Tempo de resposta total do sistema (eletrônico e mecânico)

O tempo de laminação teórico para a peça é dado pela equação de velocidade x tempo para a lupa,⁽²⁾ considerando-se o fator de eficiência de avanço, conforme a equação:

$$\hat{t}_i^0 = \left(\frac{L_i^0}{\pi \times \phi \times \text{sen}(\varphi) \times \eta \times f} \times \Delta P_i \right)$$

Temos então a descrição de cada etapa do processo de cálculo do tempo para acionamento do sistema. O fator de variação do tempo de laminação é mostrado abaixo:

$$\Delta\tau'_i = \frac{t_i}{\hat{t}_i^0}$$

Seguindo a lógica de cálculo, aplicamos o filtro linear de primeira ordem nesta informação, sendo o parâmetro λ calculado a partir da otimização do modelo de previsão ajustado.

$$\Delta\tau_{i+1} = \lambda\Delta\tau_i' + (1 - \lambda)\Delta\tau_i, \text{ com } \Delta\tau_0 = \Delta\tau_0' = 1$$

Este tipo de filtro também é conhecido na abordagem de Séries Temporais como modelo de Alisamento Exponencial Simples (*Exponentially Weighed Moving Average, EWMA* em inglês).⁽³⁾ A escolha desta classe de modelos foi validada sob a análise dos dados de tempo de laminação observados, pois o correlograma mostrou comportamento de um processo com correlação serial positiva e de lento decaimento, caracterizando-se, portanto, como um processo autorregressivo (AR). Outros modelos da classe AR, como o ARIMA(3,1,0) apresentou bom ajuste, no entanto, com pouco ganho de informação se comparado ao modelo EWMA, que tem uma implementação computacional muito mais simples.

Uma observação relevante para o tratamento dos dados reais é de se desconsiderar valores espúrios, ou seja, não atualizar a média do fator se $\Delta\tau_{i+1}' - \Delta\tau_i > \delta$, com o fator δ ajustado empiricamente.

Em seguida, o fator de desvio do tempo de laminação filtrado é utilizado para fazer a previsão do tempo de laminação para a próxima peça, conforme especificado abaixo:

$$\hat{t}_{i+1} = \hat{t}_{i+1}^0 \times \Delta\tau_i$$

$$\text{Com } \hat{t}_0 = \hat{t}_0^0$$

Com a previsão do tempo de laminação, será então possível calcular o tempo para acionamento do *Plunger*, que será dado pelo tempo total de laminação previsto, menos a soma dos tempos de resposta do sistema (K_1) e de laminação da parte final da peça, a qual se deseja reduzir dinamicamente o alongamento (K_2).

$$P_{i+1} = \hat{t}_{i+1} \times \left(1 - \frac{K_2}{L_{i+1} \times \Delta P_{i+1}} \right) - K_1$$

2.2 Validação do Modelo

Para validar o método, foi feita a comparação entre o tempo real e o tempo previsto de laminação. Os gráficos da Figura 4 mostram os resultados de tal comparação. O gráfico da série apresenta os valores reais em preto e os valores previstos em vermelho, e pode-se verificar a boa precisão do modelo. O erro percentual médio de previsão (sigla em inglês na legenda *MAPE*) foi de 2,63%, representado em um desvio médio absoluto (sigla em inglês *MAD*) de 3,13 – que corresponde a 313 milissegundos. O histograma dos resíduos apresenta comportamento aleatório e próximo à distribuição Normal, ou seja, sem vício ou assimetria. Já a série dos resíduos no tempo (em azul) mostra que não há variação da média dos resíduos, e que o modelo tem variância aproximadamente constante. Finalizando a análise, não são verificadas mudanças no comportamento do modelo na faixa de valores ajustados, que pode ser observado no gráfico de resíduos *versus* valores previstos,

finalizando e validando a eficácia do modelo em atingir ao objetivo proposto de ajuste automático do tempo para acionamento do sistema *Plunger*.

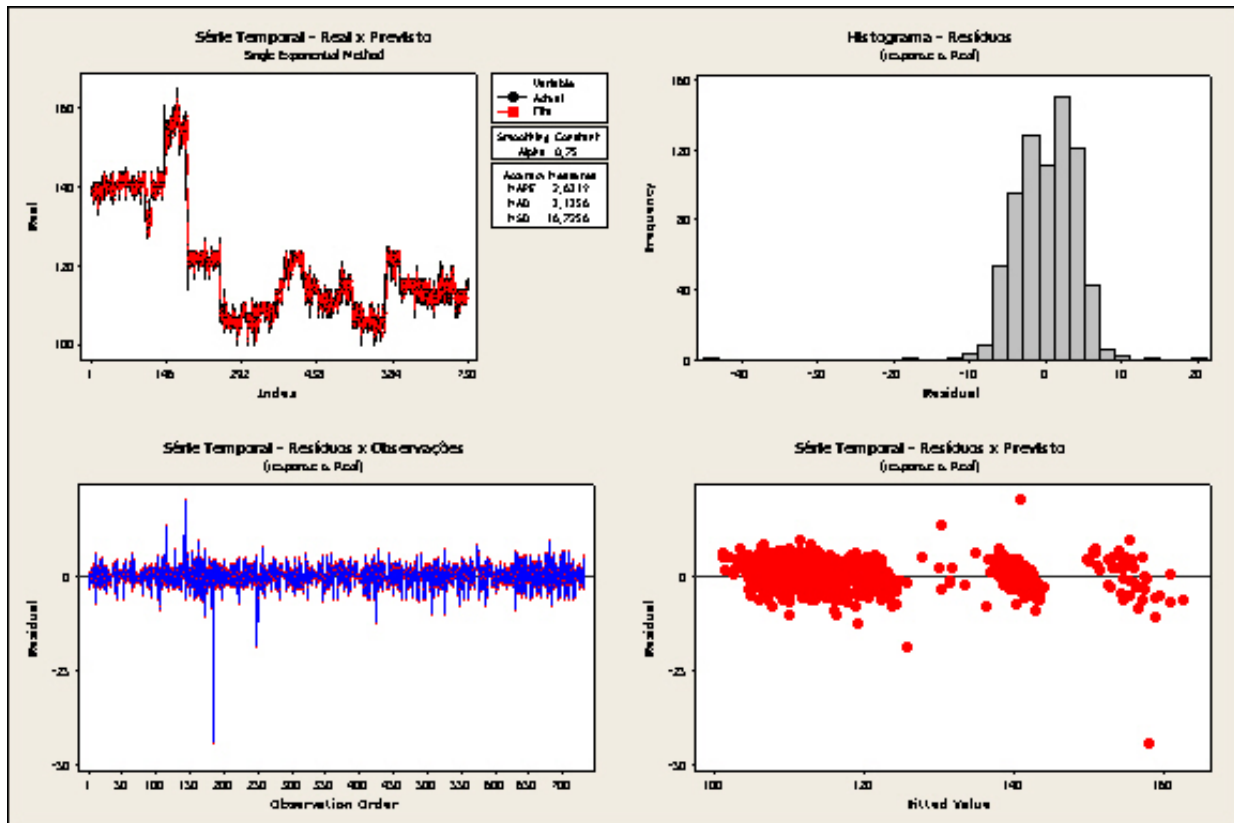


Figura 4. Gráficos para análise de precisão do modelo.

2.3 Resultados no Produto

A análise do perfil do produto é importante para avaliar algumas conseqüências do funcionamento do sistema em questão, como o aumento da variabilidade de espessura na porção final da peça. Contudo, não foram observadas alterações no comportamento da excentricidade de parede (diferença entre a espessura máxima e a mínima na seção transversal do tubo) na região transiente (de movimentação da ponta), ou na região mais espessa no final dos tubos, comparando-as com a região frontal do tubo (antes do recuo). Os gráficos a seguir mostram os perfis de duas lupas que foram perfuradas e enviadas diretamente ao sistema de medição de espessura a quente. Os gráficos na porção superior são os perfis de espessura de dois tubos, sendo a parede mínima, média e máxima por seção, representadas respectivamente pelas cores vermelha, verde e preta. Já os perfis de excentricidade (diferença entre a espessura máxima e mínima por seção) são representados pelas linhas de cor azul.

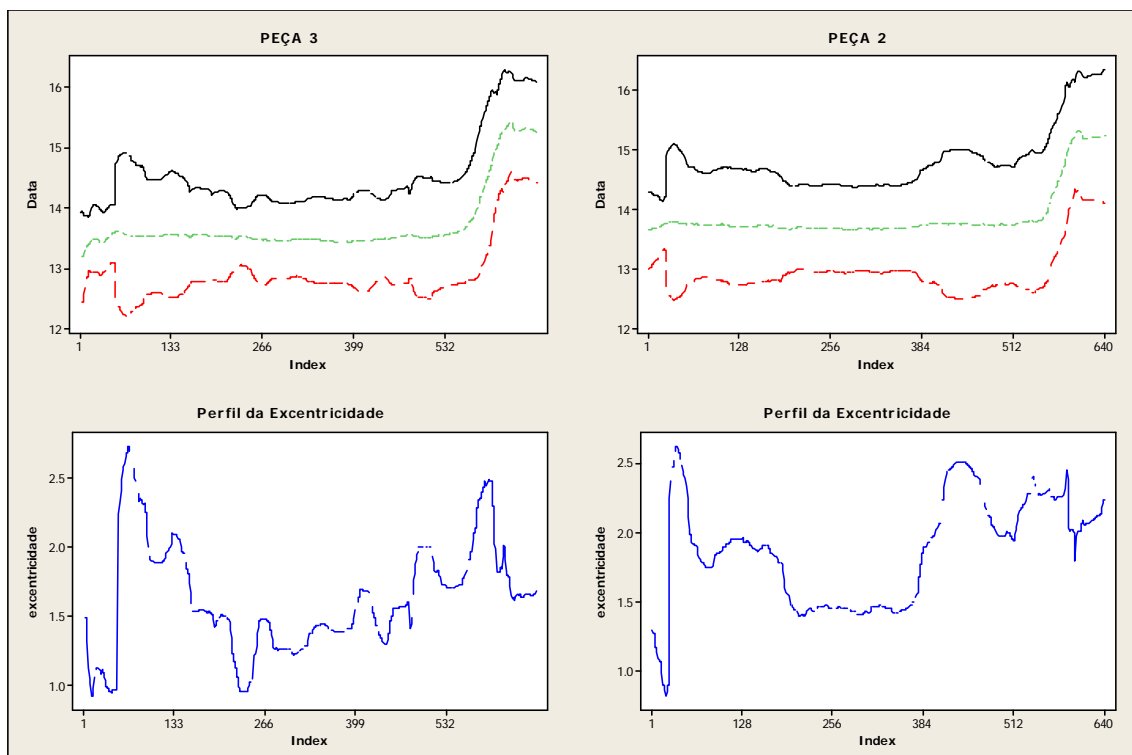


Figura 5. Perfil de espessura da Lupa laminada.

2.4 Resultados de Qualidade

Os resultados apresentados a seguir, para efeito de comparação, foram divididos em 2 partes. Foi comparado o período de 1 ano para resultados Visual dimensional (VD) para defeitos internos por “*corte de pontas*”, durante a época em que não se utilizava o *Plunger*, e o período de 1 ano após a implantação do novo sistema.

Tabela 1: Histórico analisado para validação da eficácia do projeto

Período	Peças Inspeccionadas	Peças com Indicação	Peças Recortadas	Peças Rejeitadas
Antes Implantação	474.606	2.749	925	31
Depois Implantação	459.678	727	397	24
TOTAL	934.284	3.746	1.322	55

A partir dos resultados observados, verificou-se uma redução de 72,4% nas indicações - caindo de 0,58% para 0,16% - o que praticamente eliminou as interrupções na linha por este defeito de qualidade, já que o mesmo carece de recuperação da superfície interna com esmeril, restringindo o ritmo da linha de inspeção final. Também é observada uma redução de 55% no volume de recortes nos tubos (0,2% para 0,09%), melhorando assim o rendimento metálico.

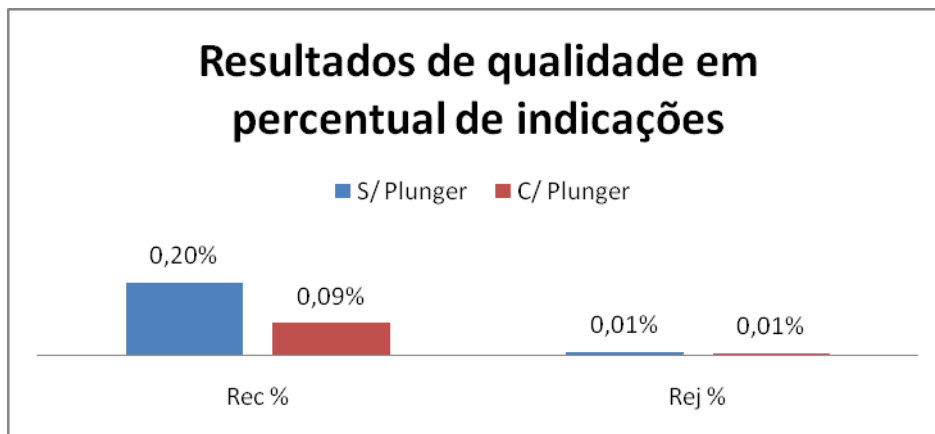


Figura 6. Percentual de Recorte/Rejeito defeito “corte de pontas”.

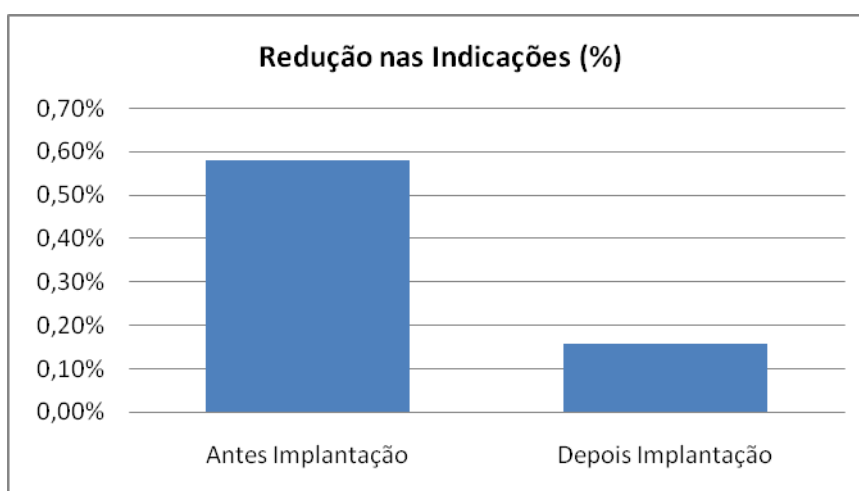


Figura 7. Redução no percentual de indicações de tubos na inspeção final.

3 CONCLUSÃO

Os gráficos apresentados mostram que o modelamento por Séries Temporais da eficiência de avanço na laminação oblíqua proporcionou uma boa estimativa para a previsão do tempo de laminação, podendo ser reaplicada em outros sistemas ou acionamentos na laminação, em que seja necessário obter uma estimativa *a priori* para o tempo de laminação. Os principais resultados atingidos foram:

- eliminação de sensoriamento para detecção da borda do tubo;
- ajuste do sistema de recuo dinâmico da ponta mais flexível em termos de regulagem;
- total automatização da regulagem do sistema, sem necessidade de intervenção do operador;
- melhoria significativa do nível de indicações e recortes do defeito interno “corte de ponta”; e
- redução do nível de micro-interrupções devido a agarramento de lupa.

Com maior precisão de acerto, o modelo se adéqua muito bem a cada ciclo rodado, fazendo ajustes constantes no processo. O impacto na redução de defeitos já foi observado nos resultados apresentados, tais inconformidades eram observadas com freqüência nos casos de paredes finas e com grandes expansões de diâmetro, especialmente em graus API (K55, GR B, N80, J55), e em tubos para indústria de cilindros de gás, (SAE 4130, 41B30, 41B30H, 41B30HM, 1541). Além disto, o

problema de retirada lenta na linha por paradas para retrabalho (esmerilar ou recortar) reduziu drasticamente, diminuindo de forma significativa o não ritmo gerado por tal interrupção.

Como trabalho futuro, pretende-se expandir o uso do modelo de previsão por meio de séries temporais para outros laminadores, como por exemplo, o ajuste dinâmico da correção de espessura do cilindro do laminador Duo, posterior à etapa de perfuração.

Agradecimentos

Agradecemos aos operadores, líderes e supervisores de operação, que deram sua contribuição durante os testes e na avaliação da melhoria da qualidade, à equipe de Manutenção da Laminação Automática, especialmente à logística, inspeção mecânica e aos especialistas em automação. Ressaltamos também a contribuição do Eng. Burkhard Helten, da usina V&M de Rath (Alemanha). A toda equipe da Laminação Automática da V&M do Brasil, que de certa forma contribuiu para a evolução e realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 KLEMPPEL, C.; DUPIN, E.E.V.; PEREIRA, G. "Plug Mill SWW: Increase of Piercer Mill Work Rolls length". Relatório técnico interno. V&M do Brasil. Belo Horizonte: 2005.
- 2 SILVA, R.V.; FERREIRA, J.C. "Study About the Increase of Piercer Mill Work Rolls length". Relatório técnico interno, V&M do Brasil. Belo Horizonte: 2005.
- 3 MONTGOMERY, DOUGLAS C. , Introduction to Statistical Quality Control, Arizon State University, 4th ed. Willey, N.Y, 2001.