

# MELHORIA DA ESTABILIDADE NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE, NO TREM ACABADOR DA CSN (LTQ2), PELA OTIMIZAÇÃO DAS REGRAS DE ENFORNAMENTO<sup>1</sup>

Nilber Bhering Cordeiro<sup>2</sup>  
Carlo Rodrigo da Silveira<sup>3</sup>  
Sabrina Hoçoya Monteiro<sup>4</sup>  
Valnei Carneiro Salles<sup>4</sup>  
Ney Nogueira de Oliveira<sup>4</sup>

## Resumo

Após o REVAMP do LTQ2, em Jul/2001, o nível de automação implantado, entre tantos benefícios e disponibilidades de recursos, também passou a exigir análises mais detalhadas dos fenômenos inerentes ao processo de laminação. A busca em ganhos de qualidade de produto, e processo associados a altos níveis de produtividade, exige faixas mais restritas de controle de processo, entretanto, a criticidade quanto à estabilidade operacional pode ser fortemente afetada. Desta forma, este trabalho trata de uma das principais variáveis de processo, fundamental a estabilidade operacional na laminação a quente: A temperatura adequada de aquecimento das placas. Este novo cenário, detalhista e metuculoso, enfatiza a necessidade de uma visão abrangente dos componentes garantidores do pleno sucesso operacional, quebrando a setorização da planta (Forno, Desbaste, Acabamento e Bobinadeiras) e reforçando a idéia de conjunto no processo de laminação. Neste trabalho será abordado o desenvolvimento feito pela equipe técnica do LTQ2 com suporte da equipe de programação da produção. Este consistiu, basicamente, em grupamentos de classes de materiais, durante o enforramento, visando maior uniformidade térmica durante o pré-aquecimento das placas, cujos reflexos no acerto das temperaturas desejadas na saída do Trem Desbastador, garantirão condições mais favoráveis de laminação no Trem Acabador. A observação e o devido tratamento de dados foi realizado pela aplicação da ferramenta gráfica e estatística do software LABView, cujo desenvolvimento fora apresentado pela equipe CSN no 42<sup>o</sup> Seminário de Laminação. Os recursos gráficos, na ocasião demonstrados, serão aqui também aplicados para mostrar os resultado alcançados.

**Palavras-chave:** Laminação; Processo; Gestão.

## IMPROVEMENT IN HOT ROLLING ESTABILITY PROCESS OF CSN HOT STRIP MILL, BY OPTIMIZATION OF ROLLING SCHEDULING

### Abstract

After the CSN's HSM revamp, July 2001, a complete new automations level allows high production and quality, as well as detailed data analisys concerning to the HSM inherent phenomena. Looking for better quality indicators and process associations with high level productivity, requests restricted ranges for process control, however operational stability some times is critically affected. This paper presents the reheat slab temperature as one of the basic variable for process stability. This new meticulously detailed scenery enphatises the necessity of vast point of view about process components, breaking setorization, reinforcing idea for hot rolling as a unique process, from furnace to Coiler. Here is showed the development made by proگرامing and technical teams. This consists basically on better schedeling of slabs classes at furnace entry side aiming thermal uniformity along the preheating zone, and to reach target rougher delivery temperature (RDT), that will guarantee better finishing rolling conditions. Observation and data analisys was done using graphical and statistical tool developed by CSN's group and presented at 42<sup>o</sup> rolling seminar, here also applied to show the results.

**Key words:** Rolling; Process; Management.

<sup>1</sup> Contribuição a ser apresentada no 43<sup>o</sup> Seminário de Laminação da ABM, 17 a 20 de Outubro de 2006, Curitiba/PR.

<sup>2</sup> Msc., Engenheiro de Produção do LTQ na Companhia Siderúrgica Nacional.

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção do LTQ na Companhia Siderúrgica Nacional.

<sup>4</sup> Engenheiro de Automação na Companhia Siderúrgica Nacional.

# 1 INTRODUÇÃO

Uma característica básica do processo de laminação a quente é a integração de equipamentos com funções a princípio independentes, contudo as características de seus produtos intermediários, determinarão o sucesso do processamento nos equipamentos subseqüentes. Na Figura 1, tem-se o lay-out de equipamentos que compõem o Laminador de Tiras a Quente (LTQ2) da CSN.

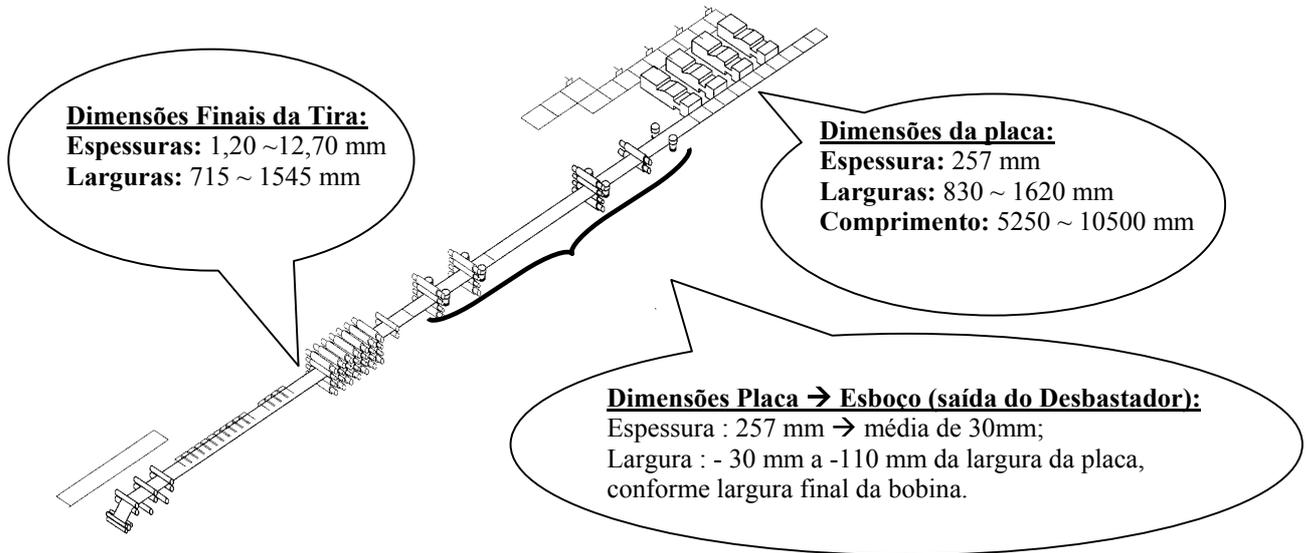


Figura 1. Lay-out básico do LTQ da CSN.

## 1.1 Fornos de Reaquecimento de Placa do LTQ2 – CSN

Observa-se que o início do processo de laminação a quente se dá nos fornos de reaquecimento de placas. Na CSN, há 4 fornos com capacidade de 250 ton./h. Cada forno é dividido em 7 sub-zonas (Figura 2) de combustão, enquadradas em 4 zonas principais, sendo elas:

### FORNO DE REAQUECIMENTO DE PLACAS DA LTQ II.

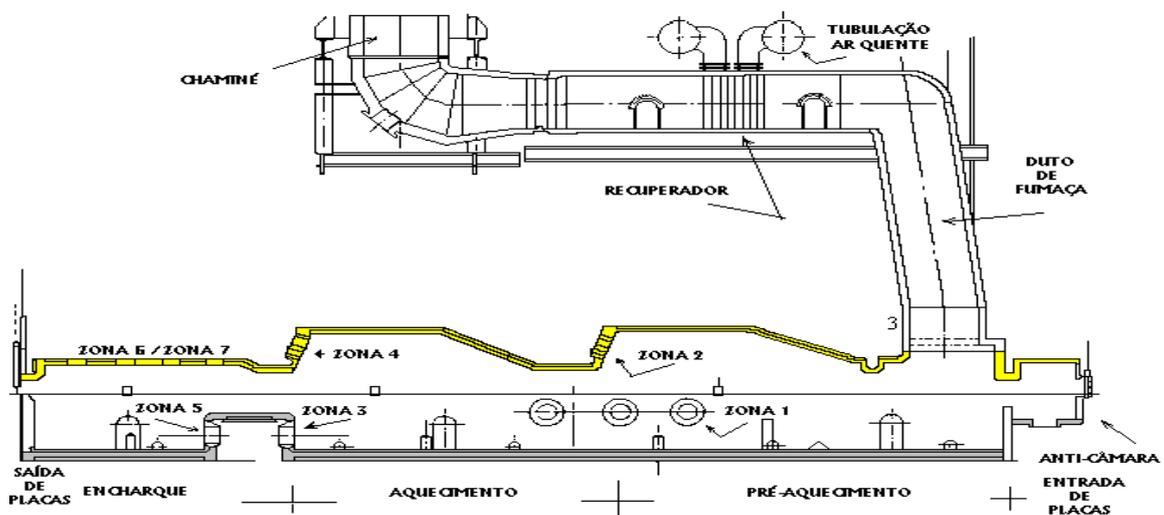


Figura 2. Divisão das zonas no forno de reaquecimento de placas.

a) Zona de recuperação:

Situada no início dos fornos, lado de entrada, é a parte da zona de pré-aquecimento que não possui queimadores instalados. Aproveita-se o calor gerado pelos gases de combustão, como também recupera-se os mesmos para o aquecimento do ar para a combustão nos queimadores. Nesta zona a placa atinge a temperatura entre 450°C a 550°C (Figura 3).

b) Zona de pré-aquecimento:

Está situada após a zona de recuperação. Esta é a zona de maior potência do forno onde é fornecida a maior quantidade de energia à placa. No final desta zona, a placa atinge a temperatura de 810°C a 900°C. Esta zona é subdividida em duas, pré-aquecimento inferior (zona 1) e superior (zona 2).

c) Zona de aquecimento:

Nesta zona a elevação de temperatura se dá até bem próximo a temperatura de extração final visada, iniciando-se ao final dela o ciclo de homogeneização da temperatura da placa. Esta zona também é subdividida em duas, aquecimento inferior (zona 3) e aquecimento superior (zona 4).

d) Zona de encharque:

Nesta a elevação de temperatura é bem pequena comparada com as zonas anteriores, pois, o objetivo desta zona é a homogeneização da temperatura da placa de forma a garantir uniformidade operacional durante o processamento. Esta zona é subdividida em três, sendo encharque inferior (zona 5), encharque superior direita (zona 6) e encharque superior esquerdo (zona 7). Esta divisão da parte superior em duas é para possibilitar ter a temperatura diferenciada de ponta e cauda da placa, se for o caso.

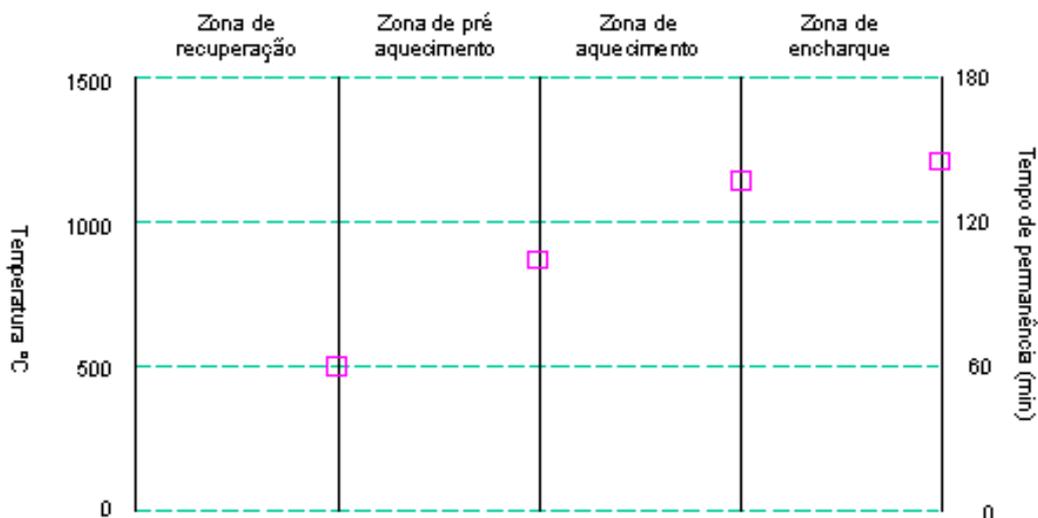


Figura 3. Temperatura ao longo das zonas do forno.

As placas são enforadas com temperaturas que variam desde a ambiente até em torno de 700°C, conforme a rota de produção da placa após o processo de lingotamento contínuo. Após o ciclo de reaquecimento, que dura em média 3 horas, estas placas serão extraídas a temperaturas que podem variar, atualmente, de 1170 a 1220 °C.

## 1.2 Temperatura de Extração dos Fornos de Placas

Como citado anteriormente, o adequado cumprimento desta variável é fundamental para: garantia da estabilidade nos processos subseqüentes, condições superficiais, como também nas propriedades mecânicas desejadas dos produtos (Ex.: solubilização de microligantes).<sup>(1-3)</sup>

Na Figura 4, empregando a ferramenta do LABVIEW,<sup>(1)</sup> é apresentado o perfil diário individualizado dos fornos ,placa a placa, relacionando sua temperatura de extração em relação aos limites visados. A possibilidade de correlação direta dos dados gráficos, com as ocorrências de processo, permitiu enxergar os efeitos de gradientes/degraus térmicos na seqüência de enformamento das placas. Tais correlações sinalizaram a necessidade de desenvolver um trabalho específico para tratamento desta variável operacional.

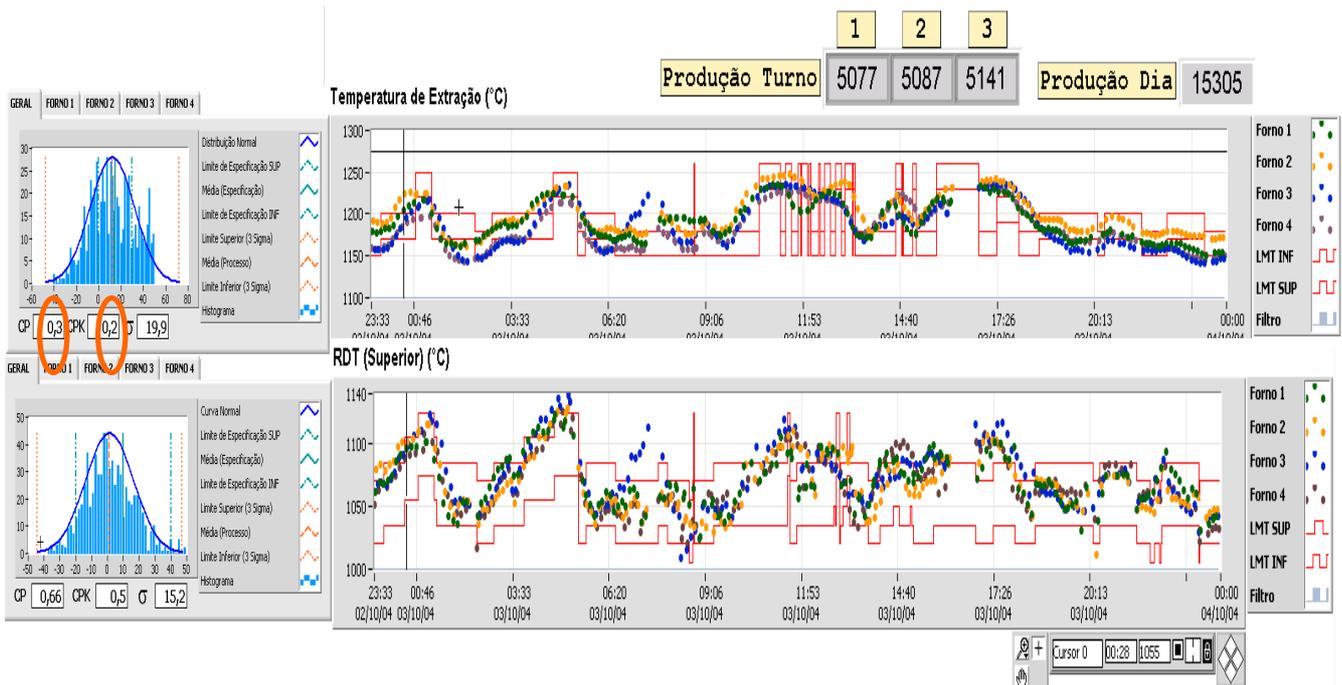


Figura 4. Temperatura de extração dos fornos e histograma.

Ainda, no histograma da Figura 4, observa-se o tratamento estatístico dado à temperatura de extração, o qual é muito útil para uma visão estatística geral do desempenho por forno, como também para análise primária dos efeitos do mix de enformamento nas capacidades de atendimento das temperaturas objetivadas.

## 1.3 Temperatura na Saída do Desbastador ( RDT)

Como conseqüência direta, apesar das influências das águas de descamação nas cadeiras do desbastador, a temperatura de RDT obedece o balanço térmico determinado pela temperatura de extração, conforme mostrado na Figura 5. A condição mais crítica ocorre em situações quando o descumprimento, para menos, da temperatura visada de extração não consegue ser corrigido mesmo trabalhando com o mínimo de descamações necessárias para garantir a superfície do esboço(produto após laminação no desbastador).

## 2 EFEITOS DA SEQÜÊNCIA DE ENFORNAMENTO SOBRE O PROCESSO

Uma grande questão, no processo na laminação a quente, é adequar a temperatura extração de forma garantir ao mesmo tempo a harmonia entre variáveis como: superfície isenta de carepa, propriedades mecânicas e condições favoráveis de processo sob alta produtividade. No LTQ CSN, onde a produtividade média é de 700 ton./h, o triângulo de variáveis citadas é afetado pelo variado mix de dimensões x graus de aço no enforamento, o que dificulta homogeneizar dentro do forno as diferentes temperaturas de extração, conforme visto na Figura 4. A consequência imediata desta condição é, materiais que deveriam ser extraído mais quentes e saem mais frio, e antagonicamente, materiais que deveriam sair mais frios e saem mais quentes. No caso dos materiais que deveriam sair com temperaturas mais elevadas, observou-se também uma maior dificuldade no controle do sistema automático de extração em garantir uma boa uniformidade térmica (encharcamento), cujos efeitos foram bem percebidos no processo do trem acabador.

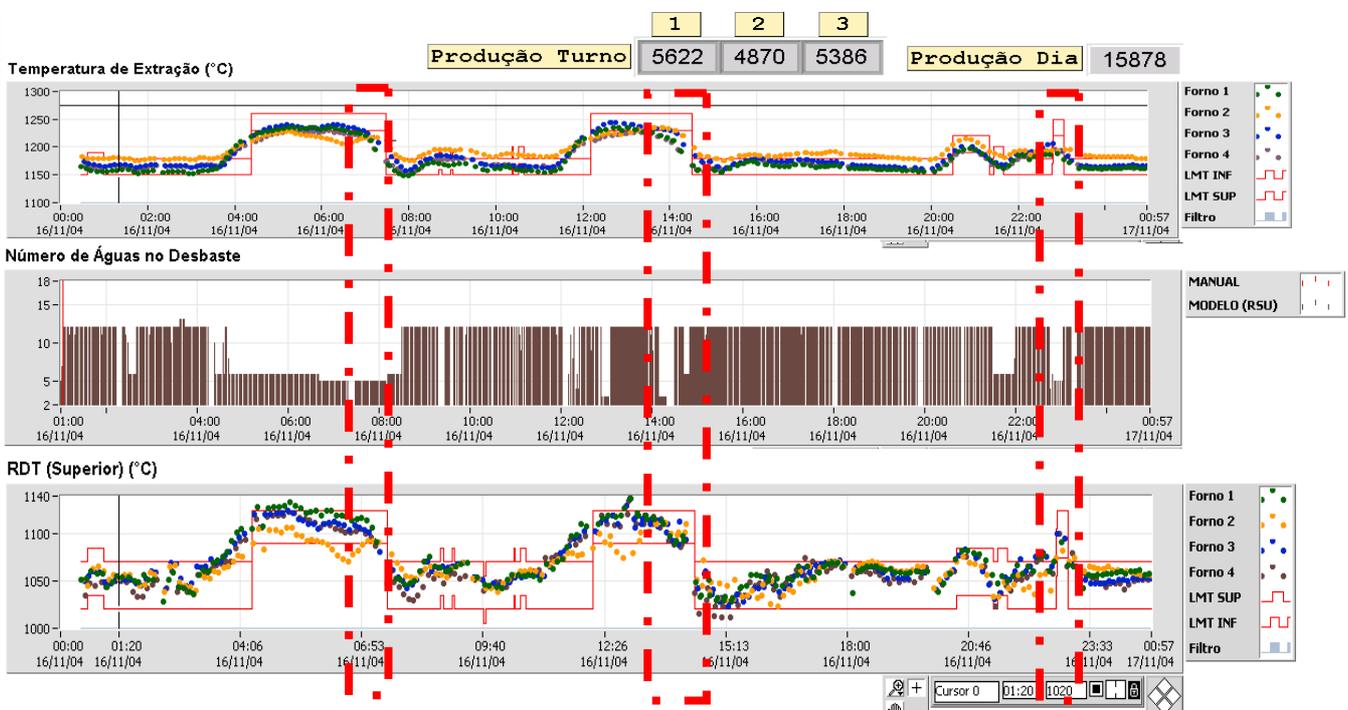


Figura 5. Correlações entre temperaturas e descamações do desbaste.

No aspecto prático do processo, constatamos vinculadas às situações como as citadas acima, ocorrências isoladas de carepa, e de forma mais evidente, ocorrências de instabilidades como: rabadas, arrebutamentos, repuxados laterais e centrais, etc.

## 3 REENQUADRAMENTO DE FAIXAS DE TEMPERATURAS

A primeira etapa do trabalho consistiu na redução da quantidade de temperaturas visadas de extração. Existia, conforme classes específicas de materiais, considerando composição química, criticidade de processo e condição de superfície final, cinco temperaturas visadas de extração, respectivamente 1150, 1170, 1190, 1200 e 1220. Foi feito um novo agrupamento de classes de materiais, de forma semelhante a existente, porém com uma abordagem mais abrangente,

considerando as necessidades de propriedades mecânicas visadas (através das temperaturas de acabamento e bobinamento), também reavaliando as relações grau x espessura x largura no que tange a criticidade de processo no trem acabador, e finalmente reavaliando o aspecto superficial de alguns materiais. Após isto, reduziu-se a quantidade de temperaturas de extração para 3 valores: 1170, 1190 e 1220oC. Bons resultados foram alcançados e facilmente percebidos pela uniformidade de temperatura da carga do forno (Figura 6).

Apesar das melhoras observadas, continuou-se ter ocorrências de casos isolados de desvios de qualidade (superfície) e instabilidades de processo associadas a variações no aquecimento da placa (círculo laranja na Figura 6). Ao analisar as ocorrências, verificou-se que a solução estava pouco mais além de somente questões técnicas de readequação de temperatura visada, sendo necessária aplicação de ações gerenciais na forma de enformamento. Foi então envolvida a programação da produção, juntamente com a equipe técnica do LTO, para rever a forma atual de programação de enformamento. A solução residia no agrupamento dos materiais em seqüências (também conhecida como ciclete, cone, chance, caixão, etc.) conforme a temperatura de extração. As dificuldades iniciais em conciliar a formação de seqüências, combinado com vazamentos dos graus na aciaria, se deu principalmente nos casos de graus de temperatura de extração de elevada onde o antagonismo de processo, criticidade operacional x qualidade de superfície, criou barreiras à formação de seqüências com kilometragem/tonelagem dentro dos padrões atuais (média de 78 km).

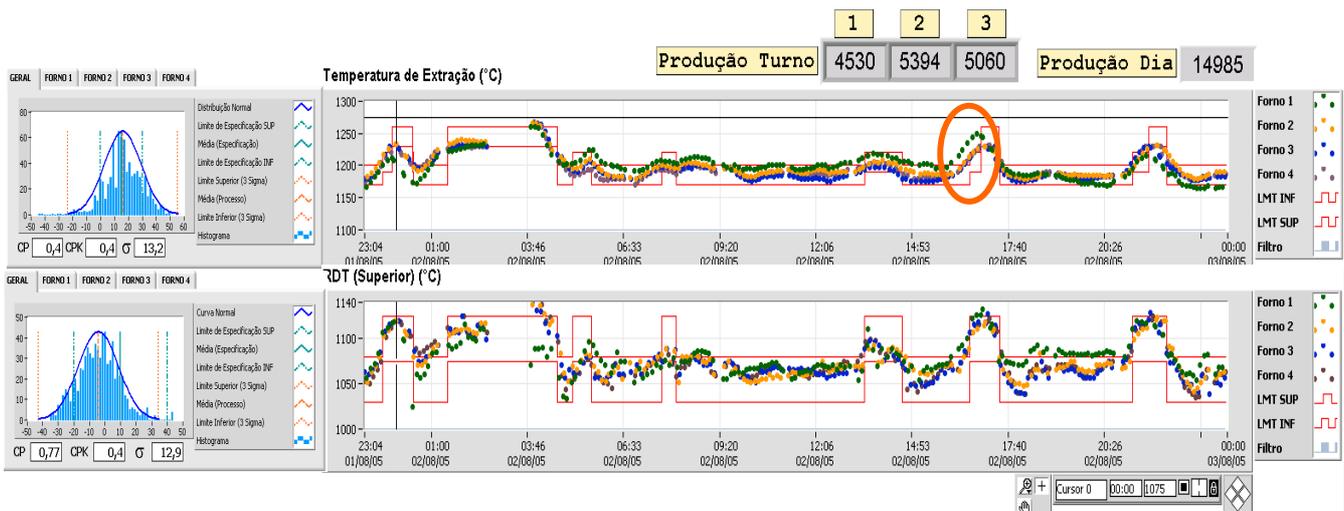


Figura 6. Redução nos degraus de temperaturas de extração.

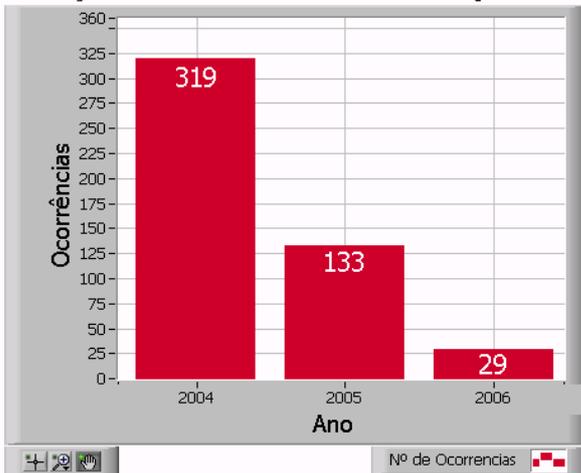
No entanto, trabalhando no mix de produto sob a ótica da aplicação final, como também revendo condições operacionais de descamação do desbaste e temperatura de entrada no trem acabador, tais barreiras na formação de seqüências foram sendo eliminadas sem qualquer prejuízo de qualidade de processo e produto. Após o trabalho, ficaram 4 (quatro) seqüências característica, definidas em função da temperatura de extração e dos materiais enquadrados por dimensão e grau dentro da nova regra de programação de enformamento. Os resultados podem ser observados na Figura 7, onde observa-se nitidamente a eliminação de degraus térmicos nas temperatura de enformamento visadas/obtidas, com sua conseqüência direta no RDT. Estatisticamente, os valores de capacidade de processo (círculo laranja na Figura 7) dobraram se comparados a 2004 (círculo laranja na Figura 4).

Mais relevante que resultados gráficos e estatísticos de temperatura, a Figura 8 mostra a redução de ocorrências de instabilidades e desvios de qualidade, entre 2004 e 2006 (previsão por ritmo), provocadas por temperatura de extração inadequada.



Figura 7. Perfil de aquecimento das seqüências de laminação após otimização da regra de enformamento.

Evolução de Ocorrências de Desvios na Qualidade



Evolução de Ocorrências de Paradas Operacionais

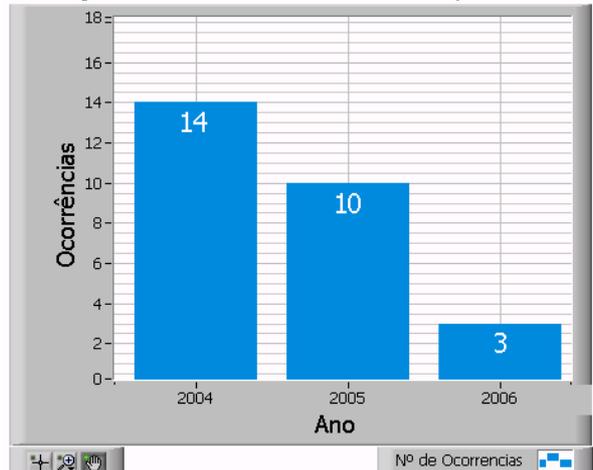


Figura 8. Evolução das Ocorrências e Paradas Operacionais após o início dos trabalhos de otimização na estratégia de reaquecimento em 2005.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados alcançados com o trabalho reforçou a idéia de “continuidade” do processo de laminação a quente, onde usualmente o grande foco de processo está no trem acabador, tendo em vista sua complexidade operacional e também maior responsabilidade sobre o produto laminado. Contudo, aqui foi confirmado que

o sucesso final depende e começa lá no início do processo, ou seja, nos fornos de reaquecimento de placas.

Também vale ressaltar a percepção de desenvolver maiores sinergias de processo entre o lingotamento contínuo e o laminador de tiras a quente, pois elas além dos conhecidos ganhos em economia de energia pelo procedimentos de enformamento a quente, não discutido aqui neste trabalho, revela também ganhos de flexibilidade nos procedimentos de enformamento, favorecendo a capacidade de processo no reaquescimentos das placas.

Outro ponto também merece enfoque, seguindo a mesma linha do trabalho apresentado no trabalho do seminário de 2005,<sup>(4)</sup> o desenvolvimento de ferramentas gráficas e estatísticas, adequadas e customizadas, são de fundamental importância para o tratamento minuciosos dos dados de processo,<sup>(5)</sup> permitindo desenvolvimentos melhorias sustentáveis, e em escala, em qualidade de processo e produto.

## REFERÊNCIAS

- 1 Brimacombe, J. K., Samarasekera, I. V., Hawbolt, E. B., and Bar, P. V., *“Thermal and Microstructural Evolution in the Solidification and Thermomechanical Processing of Steel”*, The Center of Metallurgical Process Engineering, The University of Columbia Vancouver, Canada.
- 2 Chen, W. C., Samarasekera, I. V., Kumar, A., and Hawbolt, E. B., *“Mathematical modeling of heat flow and deformation during rough rolling”*, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 20, 1993, pp.X. Ye e I.V. Samarasekera, Iron & Steelmaking, July 1994, **2**, 113-125.
- 3 J. H. Beynon and C. M. Sellars, *“Modelling Microstructure and Its Effects during Multipass Hot Rolling”*, ISIJ, (1992), 359.
- 4 N. B. Cordeiro, C. A. L. Novaes, M.M. B. Alves e E. F. Sousa , *“Modelo de Gestão de Processo usando Aplicações Estatísticas na Rotina Diária do Laminador de Tiras a Quente da CSN”*, 42<sup>o</sup>. Seminário de Laminação da ABM, 2005.
- 5 J. K. Liker, *“ O Modelo TOYOTA: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo “*, Bookman, 2005, 153.