

AUTOMAÇÃO E GERENCIAMENTO DO PROCESSO DO FORNO DE RECOZIMENTO EM CAIXA N.º 1 DA CSN

*Carlos Alberto Guedes*¹
*Eduardo Amorim*²
*Eliezer Natal*³
*Francisco de Assis Rabelo*⁴
*Marcelo de Oliveira Reis*⁵
*Vinicius Santos de Deus*⁶

Resumo

O presente trabalho foca a melhoria obtida no gerenciamento do processo e aumento da qualidade das bobinas de aço produzidas no Forno de Recozimento em Caixa nº1 da CSN. Tal resultado foi possível através da implantação de um sistema de automação, o qual viabilizou o desenvolvimento de um modelo analítico de controle automático dos ciclos térmicos de recozimento, aumentando a confiabilidade e precisão dos ciclos térmicos. O complicado gerenciamento de performance deste tipo particular de processo metalúrgico também pôde ser otimizado através de ferramenta de gerenciamento desenvolvida pela CSN, frente aos recursos de automação.

Palavras-chave: Qualidade; Gerenciamento; Processo.

60º CONGRESSO ANUAL DA ABM, dias 25, 26, 27 e 28 de julho de 2005,
MG.

Belo Horizonte –

¹ *Técnico de Desenvolvimento – CSN;*

² *Engenheiro de Produção – CSN;*

³ *Engenheiro de Manutenção – CSN;*

⁴ *Engenheiro de Automação – CSN;*

⁵ *Técnico de Instrumentação – CSN;*

⁶ *Engenheiro de Manutenção – CSN.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de laminação a frio dos aços, que tem como objetivo principal o ajuste da espessura final da folha de flandres, propicia no material um aumento excessivo da resistência mecânica. Este incremento é devido, principalmente, ao aumento da densidade de discordâncias, podendo atingir valores da ordem de 10^{12} cm/cm³, dependendo da severidade de deformação. Quanto maior for a redução, mais forte é a modificação da estrutura interna do aço, correspondendo a um trabalho de deformação elevado que alonga os grãos ferríticos na direção de laminação, ficando o aço no estado encruado, comprometendo seriamente a dureza e o limite de resistência, que ficam posicionados em valores na ordem de , respectivamente, 80 HR 30T e 800 MPa , tornando o aço quebradiço e impróprio para as aplicações de folhas de flandres.

Assim sendo, é necessário submeter o aço a um tratamento térmico para se aliviar as tensões internas e promover a formação de novos grãos com a mesma composição e estrutura cristalina dos grãos originais, porém alongados e heterogêneos (recristalização). Para o material normalmente usado na área dos fornos em caixa (aço de baixo carbono com taxa de redução elevada), um recozimento subcrítico é o bastante (realizado abaixo da temperatura de início da transformação ferrítica/austenita – 723° C).

Desta forma, a função do Forno de Recozimento em Caixa é realizar o tratamento térmico nas bobinas de aço laminadas, com o objetivo de se obter um produto final cuja dureza esteja de acordo com as necessidades do cliente e com superfície totalmente limpa. Para cada tipo de material é estabelecido um tempo e temperatura de processamento denominado **ciclo de recozimento**, conforme figura 1.

Exemplo de um ciclo de recozimento básico:

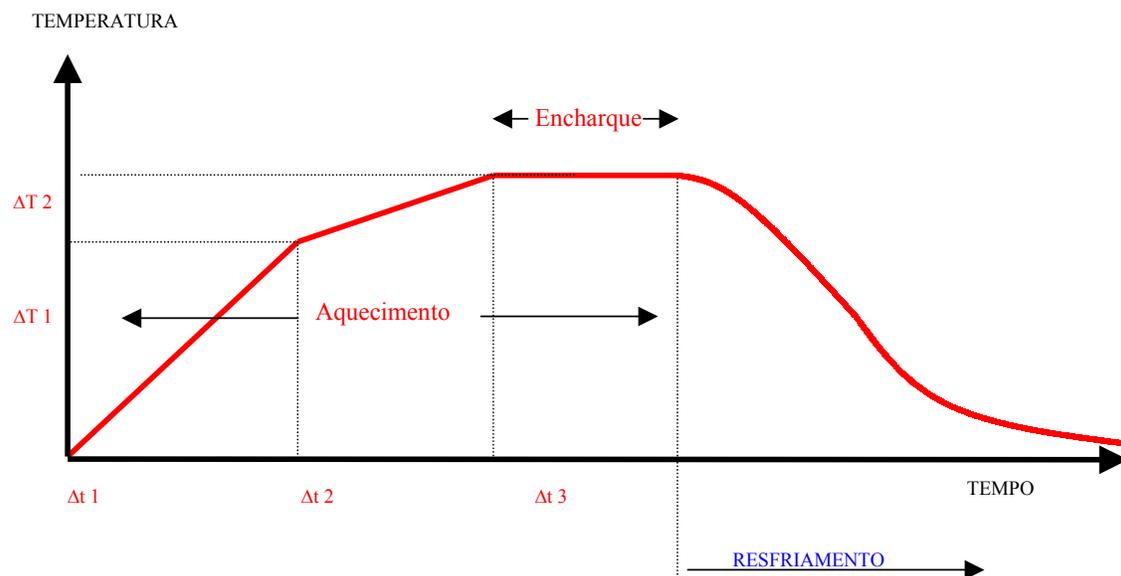


Figura 1. Ciclo de Recozimento Básico.

2 PARTICULARIDADES DO PROCESSO

2.1 O processo

O processo do Forno de Recozimento em Caixa nº 1 é composto por:

- 110 Bases;
- 55 Resfriadores; e
- 30 Fornos, sendo estes divididos em 23 Fornos de Tubo Radiante e 7 Fornos de Chama Direta.

A Figura 2 abaixo representa um forno de tubo radiante montado sobre uma base de recozimento:

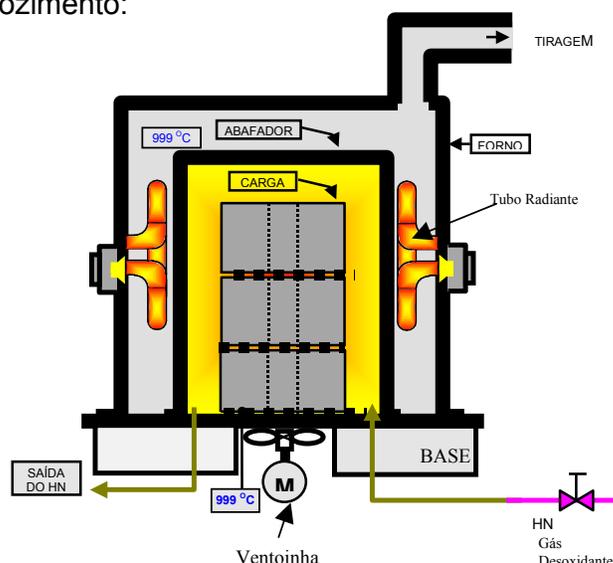


Figura 2. Forno de Recozimento montado sobre uma base.

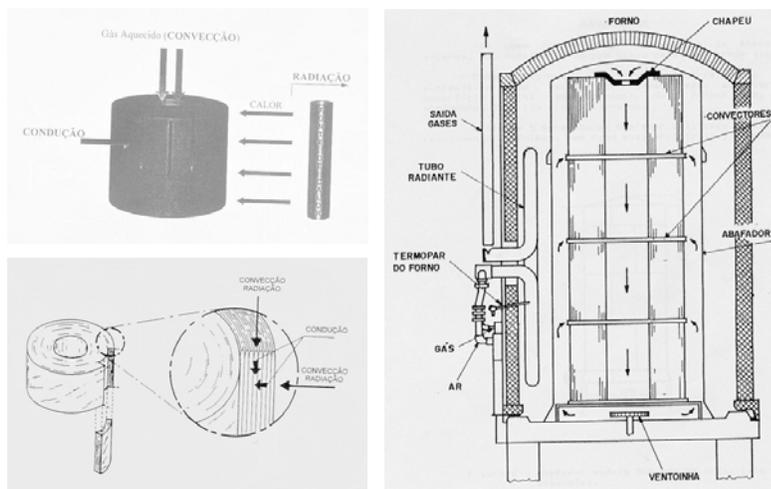
O tratamento térmico é realizado nas bobinas de aço laminadas que se encontram dentro de uma proteção (abafador), separando as mesmas do produto da combustão. O abafador é pressurizado com uma atmosfera de gás HN (hidrogênio 6% + nitrogênio 94%), que tem como finalidade proteger as bobinas quanto à oxidação. Os abafadores estão em contato com o produto da combustão vindo dos queimadores e transmite o calor para a carga, obtendo-se então, a elevação da temperatura nas bobinas. Todo este processo tem como objetivo a obtenção do produto final com uma dureza de acordo com as necessidades do cliente e com uma superfície totalmente limpa.

A transferência de calor para as bobinas acontece, principalmente, por convecção. A transmissão do calor é mais rápida de borda a borda do que do diâmetro externo para diâmetro interno da bobina, isto é explicado devido à condutividade equivalente radial ser, em média, quatro vezes menor do que a condutividade verdadeira do metal.

O gás desoxidante circulando sobre as bordas das bobinas, através das placas de convecção, esquentam as bordas de cada espira e por condução o calor é transmitido até atingir a parte mais fria da bobina.

O ventilador sopra o gás através do difusor e depois verticalmente ao longo da superfície do abafador, distribuindo o calor entre cada bobina através das placas de convecção e retornando pelo diâmetro interno das bobinas de volta à ventoinha (ventilador da base).

É sabido que a variação de temperatura no centro de qualquer bobina depende basicamente da sua largura e peso. Estas duas variáveis podem ser relacionadas com a quantidade de calor em Kcal necessária para elevar a temperatura de um determinado peso em aço. A conservação do sistema de convecção é de fundamental importância para o bom aquecimento, assim como o diâmetro interno das bobinas por onde os gases retornam a Base. Quanto menor o diâmetro interno menor a eficiência da convecção, e incide adversamente no tempo de recozimento, conforme mostrado nas Figuras 3, 4 e 5.



Figuras 3, 4 e 5. Transmissão de calor no processo de recozimento em caixa.

2.2 Descrição Funcional do Ciclo de Recozimento e Resfriamento

Os principais fatores de um recozimento são :

- a) Temperatura; e
- b) Tempo dos patamares de aquecimento e encharque.

2.2.1 Temperatura

Para cada grau de aço, dependendo da têmpera que o cliente encomenda, existem tabelas de código de ciclos que determina a temperatura e o tempo de cada patamar de aquecimento.

O controle da temperatura deve ser rigoroso, pois somente ela define as propriedades mecânicas e metalográficas desejadas.

2.2.2 Tempo dos patamares de aquecimento

O tempo dos patamares exerce forte influência nas propriedades mecânicas e metalográficas, melhorando-as e uniformizando-as.

Durante o recozimento existem diferenças de temperatura nas bobinas empilhadas (em número de 3 ou 4), sendo que a bobina superior tem temperatura bem mais elevada que as inferiores. Desta forma é necessária a permanência do material por algum tempo a uma mesma temperatura (encharque). Esta prática possibilita a equalização da temperatura do material, a recristalização dos grãos deformados na laminação e crescimento dos grãos até um tamanho que dê ao material as propriedades desejadas.

A relação entre o tempo e a temperatura a qual o material deverá ser submetido depende do grau de redução a qual o mesmo foi submetido no

processo de laminação a frio. Desta forma se, por descuido, o material carregado numa base qualquer ficar em encharque por mais tempo que o especificado apresentará dureza mais baixa, se, pelo contrário, for reduzido o tempo de encharque apresentará dureza mais alta. O mesmo ocorre com a temperatura, onde valores mais altos que o especificado, para o mesmo tempo de encharque provocarão o surgimento de dureza mais baixa e temperatura mais baixa resultará em material com dureza mais alta.

3 DESENVOLVIMENTO DE MELHORIAS NO PROCESSO

3.1 Automação do Processo

A automação do processo foi realizada através da implantação dos seguintes itens: nova instrumentação, CLP's, CCM inteligente, estações supervisórias, desenvolvimento de modelo analítico de controle térmico, interligação com nível 3 e relatório de processo em banco de dados.

Com a implantação da automação, obteve-se um ganho razoável quanto ao gerenciamento da planta, garantindo-se o automatismo em etapas fundamentais, como: o carregamento dos dados de produção do MES, o alinhamento das receitas térmicas conforme padrões operacionais, o controle dos ciclos térmicos e o arquivo dos relatórios de produção.

A seguir, encontra-se na Figura 6, uma das telas de gerenciamento do processo, acessível a partir da Estação de Automação. A partir da mesma é possível realizar todo o planejamento e acompanhamento da produção através de links específicos.

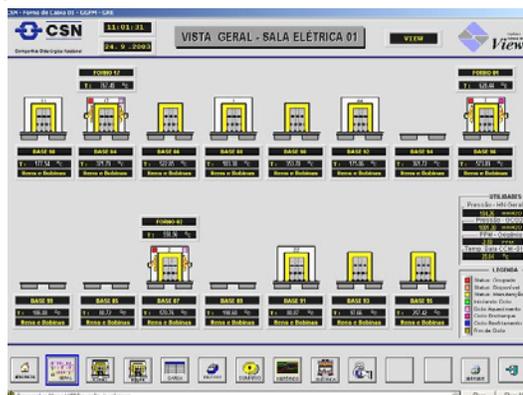


Figura 6. Tela Principal do Processo Automatizado.

3.2 Modelo de Controle dos Ciclos Térmicos

Utilizando-se dos recursos da automação implantada, foi aperfeiçoado pela CSN, dentro da própria programação dos CLP's (controladores lógicos programáveis), o modelo analítico de controle para realizar automaticamente todo o controle dos ciclos térmicos, fazendo vez às intervenções manuais operacionais realizadas no setpoint de temperatura do forno.

Tal modelo de controle se baseia no estudo empírico das diferentes variáveis relacionadas à resposta térmica obtida no processo, sendo dependentes basicamente da resposta térmica particular de cada base de recozimento, do rendimento térmico de cada forno, da espessura, largura e peso da bobina a ser recozida, peso total do carregamento e temperatura do produto.

3.3 Ferramenta de Gerenciamento do Processo

O processo realizado nos Fornos de Recozimento em Caixa, por ser em regime não contínuo através da intercambiabilidade entre fornos e resfriadores com as bases de recozimento, tem uma complexidade peculiar quanto ao gerenciamento e diagnóstico do processo, o que torna qualquer análise extremamente complicada e demorada.

Constatado que, mesmo com os ganhos obtidos com a centralização e automação do controle do processo, o diagnóstico e análise de resultados, o desenvolvimento de novos produtos, assim como o ajuste de padrões operacionais ainda careciam de uma ferramenta auxiliar de gerenciamento.

Utilizando-se dos softwares Excel e Visual Basic foi desenvolvido pela CSN uma ferramenta de gerenciamento alimentada automaticamente por informações disponibilizadas no banco de dados deste projeto.

Na Figura 7, segue um fluxograma básico quanto as etapas automatizadas do processo, os recursos de análise e diagnóstico disponibilizados com a ferramenta de gerenciamento desenvolvida.

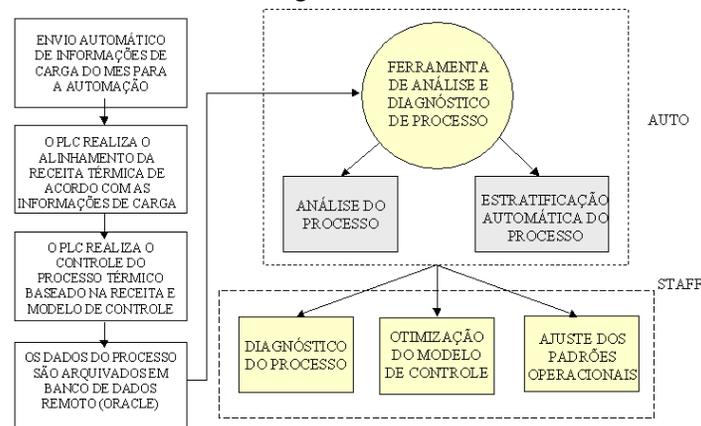


Figura 7. Fluxograma de Recursos do Processo Automatizado.

A Figura 8, a seguir, representa um exemplo de análise realizada através da ferramenta de gerenciamento, onde foi possível diagnosticar em 5 minutos uma situação particular do processo que normalmente seria realizada em semanas.

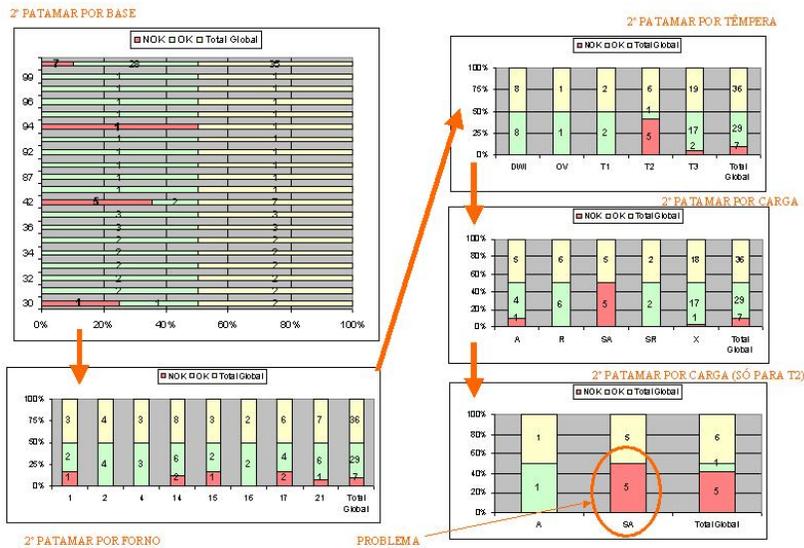


Figura 8. Exemplo de Estratificação para Análise do Processo com auxílio da Ferramenta de Gerenciamento. Neste caso representado, foi realizada a estratificação de uma amostra do histórico do processo produtivo, sendo constatada a limitação no rendimento térmico no 2º patamar de aquecimento em ciclos realizados em temperaturas T2 com cargas de bobinas classificadas por alta inércia térmica.

4 CONCLUSÃO

4.1 Benefícios Gerais

Dentre os benefícios gerais obtidos com a automação do processo e com a implantação das melhorias desenvolvidas, pode-se citar:

- Controle automático dos ciclos térmicos;
- Substituição de parte dos equipamentos obsoletos a fim de se garantir a continuidade operacional da planta;
- Busca de maior segurança do operador durante as etapas de processo (acendimento do forno e conexão das tomadas de potência com segurança);
- Melhoria na qualidade do ambiente através da garantia da relação correta da combustão, eliminando assim, a emissão de gases para a atmosfera;
- Melhoria na qualidade do produto processado;
- Análise e diagnóstico preciso e rápido do processo;
- Centralização dos softwares de automação, MES e controle de produção em uma única estação de trabalho, tornando mais ágil a atuação operacional;
- Carregamento automático das variáveis de produção do MES para o sistema de automação;
- Tratamento automático no MES quanto aos ciclos processados na automação, fazendo vez ao controle de produção operado manualmente; e
- Possibilidade de comunicação do sistema de automação com softwares específicos de nível 3.

4.2 Otimização de Padrões Operacionais

Um aspecto importante que também merece destaque refere-se ao nível de conhecimento do processo que se pôde chegar graças à ferramenta de gerenciamento desenvolvida.

Através da análise estratificada do processo, considerando o mix de produção atual, foi possível classificar as combinações de cargas cuja

capacidade térmica do processo não é suficiente para o cumprimento do padrão de determinados ciclos térmicos. Com base neste estudo, os ciclos térmicos caracterizados por uma maior necessidade de transferência de calor tiveram seus padrões operacionais revisados de modo a limitar determinadas combinações de cargas. Deste modo, pôde-se garantir um maior cumprimento dos padrões dos ciclos térmicos.

4.3 Análise de Resultados

Nos gráficos da Figura 9 a seguir, encontra-se a comparação entre a dispersão dos valores de dureza obtidos nos produtos processados sobre o valor nominal de cada têmpera antes e após a realização do trabalho.

Pode-se constatar uma melhora geral no desempenho, onde maior centralização da amostra dentro dos limites de especificação pode ser evidenciada.

O resultado deve-se, especificamente, ao aumento da precisão e repetibilidade dos ciclos térmicos, que por sua vez, puderam ser melhor supervisionados através da ferramenta de gerenciamento implantada.

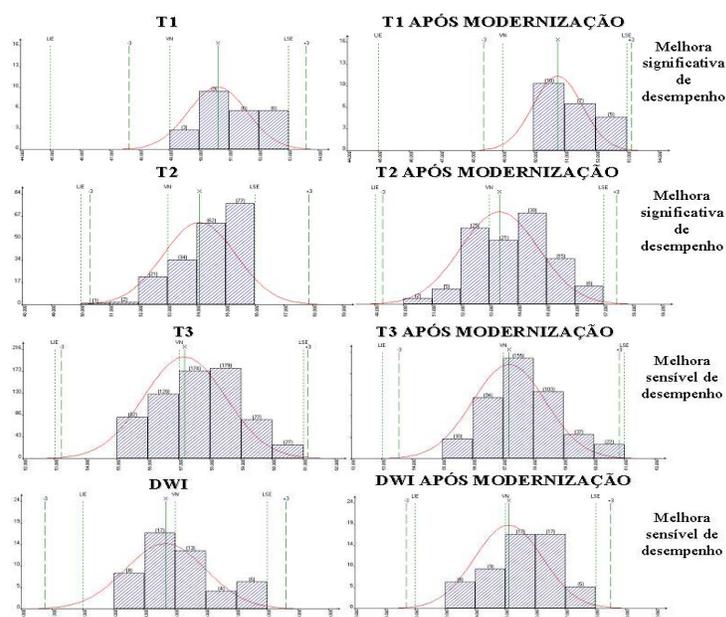


Figura 9. Comparação entre a dispersão obtida nos valores de dureza dos produtos antes e após o trabalho.

4.4 Retorno Financeiro

O retorno financeiro pode ser bem evidenciado através de dois itens básicos:

- redução do H/h necessário para estratificação e análise das informações do processo;
- diminuição dos desvios de qualidade.

4.4.1 Ganho pela redução do H/h

Situação original:

- n.º de intervenções (análise do processo) ao ano: 48
- tempo médio p/ estratificação e análise de cda intervenção: 40 hs
- custo H/h médio de profissional qualificado (eng. produção): R\$17,00
- custo de mão de obra anual: $(48 \times 40 \times 17) = R\$32.640,00$

Situação atual:

- n.º de intervenções (análise do processo) ao ano: 48
- tempo médio p/ estratificação e análise de cda intervenção: 0,5 hs
- custo H/h médio de profissional qualificado (eng. Produção): R\$17,00
- custo de mão de obra anual: $(48 \times 0,5 \times 17) = R\$408,00$

Ganho anual pela redução do H/h:

$R\$32.640,00 - R\$408,00 = R\$32.232,00$

4.4.2 Ganho pela redução nos desvios de qualidade

Situação original quanto aos desvios de qualidade(ano base: 2002):

- Quantidade de material que sofreu desvio de encomenda: 662,29 ton.
- Quantidade de material processado transformado em sucata: 310,162 ton.
- Quantidade de material reprocessado no FRCX-1: 5.061,226 ton.

Situação atual quanto aos desvios de qualidade (ano base: média entre 2003 e 2004):

- Quantidade de material que sofreu desvio de encomenda: 284,036 ton.
- Quantidade de material processado transformado em sucata: 54,636 ton.
- Quantidade de material reprocessado no FRCX-1: 3.049,878 ton.

Observações:

Os desvios de qualidade relatados acima foram baseados nos seguintes defeitos característicos de não conformidade no processo do Forno de Recozimento em Caixa 1: colado, ensaio de tração, fora de dureza, marca de colado e óxido.

O material que sofre desvio de encomenda é vendido com um abatimento de 20% do seu valor final.

O rendimento metálico desde o processo do Forno de Recozimento em Caixa 1 até as Linhas de Estanhamento Eletrolítico deve ser levado em consideração para o cálculo do retorno financeiro.

O fluxo de produção a ser considerado para a bobina de flandres desde o Forno de Recozimento em Caixa 1 é: Laminador de Encruamento, Linha de Preparação de Bobinas e Linha de Estanhamento Eletrolítico. O custo variável de produção de cada uma destas linhas de processo deve ser utilizado no abatimento do valor final de venda da bobina de flandres.

Com a geração de sucata, que é reaproveitada no processo de Aciaria, a CSN está deixando de comprar sucata no mercado externo.

Dados:

- Custo variável (LE-2, LPB-2 e LEE-2, respectivamente): R\$ 13,95/ton; R\$ 2,95/ton; R\$ 39,99/ton
- Custo variável do Forno de Recozimento em Caixa 1 até o produto final (BFL): R\$ 56,89/ton.

- Valor final de venda da bobina de flandres: R\$ 2.500,00/ton.
- Rendimento metálico (LE-2, LPB-2 e LEE-2, respectivamente): 97,74%; 92,93%; 99,02%
- Rendimento metálico desde o Forno de Recozimento em Caixa 1 até a bobina acabada: 89,94%.
- Custo da sucata no mercado externo: R\$ 699,00/ton.
- Custo de transformação (Forno de Recozimento em Caixa 1): R\$36,92/ton.

Ganho anual pela diminuição no desvio de encomenda:

$$\left(\left((662,29 - 284,036) \text{ton} \times 0,8994 \times \left(\frac{R\$2.500,00 - R\$56,89}{\text{ton}} \right) \right) + \left(284,036 \text{ton} \times 0,8994 \times \left(\frac{R\$2.500,00 \times 0,8 - R\$56,89}{\text{ton}} \right) \right) \right) - \left(662,29 \text{ton} \times 0,8994 \times \left(\frac{R\$2.500,00 \times 0,8 - R\$56,89}{\text{ton}} \right) \right) = R\$170.100,82$$

Ganho anual pela diminuição na geração de sucata:

$$\left((310,162 - 54,636) \text{ton} \times 0,8994 \times \left(\frac{R\$2.500,00 - R\$56,89}{\text{ton}} \right) \right) - \left((310,162 - 54,636) \text{ton} \times 0,8994 \times \frac{R\$699,00}{\text{ton}} \right) = R\$400.831,51$$

Ganho anual pela diminuição do reprocessamento:

$$(5.061,226 - 3.049,878) \text{ton} \times \frac{R\$36,92}{\text{ton}} = R\$74.258,97$$

4.4.3 Retorno financeiro total

O retorno financeiro total obtido com o projeto pode ser então expressado pelo somatório dos quatro ganhos anuais, ou seja:

$$(R\$32.232,00 + R\$170.100,82 + R\$400.831,51 + R\$74.258,97) = R\$677.423,30 / \text{ano}$$

BIBLIOGRAFIA

- 1 SOUZA, Sérgio Augusto. **Ensaio Mecânicos de Materiais – 5ª Edição**. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 1995, 286 p.
- 2 PINTO JR., Dário Moreira. **Curso de Laminação de Produtos Planos**. São Paulo, ABM, 4 a 8 de outubro de 1999, 70 p.
- 3 OLIVEIRA, Moisés. **O Recozimento**. Volta Redonda, Companhia Siderúrgica Nacional, 1998, 34p. (Apostila).

PROCESS AUTOMATION AND MANAGEMENT OF BOX FURNACE ANNEALING N.º 1 AT CSN

*Carlos Alberto Guedes*¹
*Eduardo Amorim*²
*Eliezer Natal*³
*Francisco de Assis Rabelo*⁴
*Marcelo de Oliveira Reis*⁵
*Vinicius Santos de Deus*⁶

Abstract

This project focus the process management improvement and the increase of coils quality produced on box furnace annealing n. 1 at CSN. The implementation of an automation system and the development of automatic analytical control model for annealing thermal cycles provided the increase of process reliability and accuracy. The complicated performance management of this particular kind of metallurgic process also could be optimized by management tool developed at CSN.

Key-words: Quality; Management; Process.

60º ABM YEARLY CONFERENCE, DAYS 25, 26, 27 AND 28, JULY, 2005, BELO HORIZONTE – MG.

- 1 DEVELOPMENT TECHNICIAN – CSN;
- 2 PRODUCTION ENGINEER – CSN;
- 3 MAINTENANCE ENGINEER – CSN;
- 4 AUTOMATION ENGINEER – CSN;
- 5 INSTRUMENTATION TECHNICIAN – CSN;
- 6 MAINTENANCE ENGINEER – CSN.