

OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE DA ACESITA ¹

Alexandre Henrique Farah Dias ²
Arisio de Abreu Barbosa ³
Carlos Roberto Gonçalves ⁴
Fernando Jose Mendonça ⁵
Henrique de Castro Rodrigues ⁶
Itamar Vaz da Silva ⁷
Luciano Lellis Miranda ⁸
Vanderlei Alves de Oliveira ⁹

Resumo

A partir de 1996, a Laminação de Tiras a Quente (LTQ) da ACESITA desenvolveu e implantou vários projetos de melhoria e modernização com o objetivo de: eliminar o obsolescimento dos equipamentos, aumentar o índice de funcionamento dos equipamentos, aumentar o rendimento físico do processo e aumentar a capacidade produção de bobinas a quente. Neste contexto, a automação contribuiu significativamente para alcançar as metas e os objetivos de aumento de produtividade. O estágio atual de integração e desenvolvimento tecnológico dos sistemas de automação da LTQ permitiu a implementação de um sistema de controle automático do ritmo (ou cadência) de produção. O objetivo deste sistema é otimizar a produtividade controlando automaticamente o ritmo dos equipamentos de produção. O controle automático do ritmo de produção é feito através da integração dos modelos matemáticos dos laminadores e dos fornos de reaquecimento de placas com os sistemas corporativos de controle de produção. Os resultados obtidos demonstram um aumento de produtividade da ordem de 3,7% na produção global. O desenvolvimento de um sistema capaz de controlar automaticamente o ritmo de produção consistiu em: determinar os índices de produtividade desejados, revisar as práticas de processo de reaquecimento e laminação, ajustar o sistema de controle de produção aos novos requerimentos de produtividade, ajustar o modelo matemático dos fornos, ajustar o modelo matemático dos laminadores. Também foi necessário integrar as funções de controle de ritmo de produção dos sistemas de automação dos fornos com os da laminação. O desenvolvimento para a integração dos modelos matemáticos dos laminadores com os dos fornos é o foco deste trabalho.

Palavras-chave: Otimização; Produtividade; Laminação; Automação.

¹ *Contribuição Técnica ao IX Seminário de Automação de Processos, 05 a 07 de Outubro de 2005 - Curitiba – PR*

² *M.Sc. Engenharia Elétrica – Engenheiro de Automação da Gerência de Automação e Eletrônica da ACESITA.*

³ *M.Sc. Engenharia Mecânica – Engenheiro da Gerência Técnica da Laminação a Quente da ACESITA.*

⁴ *Engenheiro de Automação da Gerência de Automação e Eletrônica da ACESITA.*

⁵ *Engenheiro de Automação da Gerência de Automação e Eletrônica da ACESITA.*

⁶ *Engenheiro Mecânico da Gerência Técnica da Laminação a Quente da ACESITA.*

⁷ *Analista Técnico da Gerência de Manutenção da Laminação a Quente da ACESITA.*

⁸ *Engenheiro Metalurgista da Gerência Técnica da Laminação a Quente da ACESITA.*

⁹ *Analista Técnico da Gerência de Fornos de Reaquecimento Laminação a Quente da ACESITA.*

1 INTRODUÇÃO

A Laminação de Tiras a Quente da ACESITA é composta por três fornos de reaquecimento de placas, um laminador desbastador reversível, um laminador acabador steckel e uma bobinadeira. Funcionalmente a LTQ se divide em área dos fornos e laminadores ou simplesmente: fornos e linha.

Os sistemas de automação dos fornos e linha são independentes e trocam informações entre si através de redes de comunicação. Cada sistema de automação está subdividido hierarquicamente em Nível 0, Nível 1 e Nível 2. Cada nível hierárquico é autônomo e eles trocam informação entre si através de redes de comunicação.

Tanto para os fornos, quanto para os laminadores existe um modelo matemático que está residente no Nível 2 de cada um. O objetivo do modelo matemático dos fornos é controlar e gerenciar o aquecimento das placas. O objetivo do modelo matemático dos laminadores é controlar e gerenciar o processo de laminação dos laminadores desbastador e steckel.

Os modelos matemáticos dos fornos e dos laminadores estão subdivididos em várias funções ou tarefas que cooperam entre si para atingir os objetivos descritos anteriormente. Uma função em particular é o controle de ritmo (ou cadencia) de produção. No sistema dos fornos esta função é conhecida como ACT (ou "Active Pacing"), no sistema dos laminadores esta função é conhecida como "Mill Pacing".

Originalmente, tanto a ACT quanto o "Mill Pacing" foram concebidos para trabalharem de forma independente um do outro. Contudo, isto não se mostrou eficaz porque, a otimização de produção dos laminadores depende da otimização de produção dos fornos e vice-versa. Em função da grande variedade de produtos processados na LTQ e da grande variedade das dimensões destes produtos, haverá momentos em que os fornos serão os gargalos de produção e haverá momentos em que os laminadores serão os gargalos de produção. Portanto, tanto a ACT quanto o "Mill Pacing" não conseguirão de forma isolada otimizar a produtividade da LTQ.

O objetivo deste trabalho é mostrar como a Laminação de Tiras a Quente da ACESITA aumentou a sua produtividade através do controle automático do ritmo de produção, usando modelos matemáticos e o desenvolvimento necessário para a integração dos mesmos.

2 CONTROLE DE CADENCIA DOS FORNOS E DOS LAMINADORES

O sistema de controle de produção (PCP) da ACESITA é responsável por gerar a programação de produção da empresa para cada unidade de produção. O PCP está residente nos sistemas corporativos da empresa (Nível 3), e para a LTQ o PCP gera uma programação de produção na forma de uma lista que é enviada ao Nível 2 dos fornos e ao Nível 2 da linha. A lista de programa de produção contém: a seqüência de enformamento, desenformamento e intervalo de laminação. Estas informações são a base para o controle automático de cadência da LTQ.

CONTROLE AUTOMÁTICO DA CADÊNCIA DOS FORNOS (ACT)

O intervalo de desenformamento das placas pode ser controlado utilizando-se valores fixos (padronizados pelo PCP) ou automaticamente através da ACT.

No primeiro caso, a produtividade do forno (e conseqüentemente da linha) não é otimizada em função das variações dinâmicas de tempos de laminação, programação da produção, geometria das placas e transições de produtos.

No segundo caso, a ACT considera todas as condições citadas anteriormente, ajustando dinamicamente o intervalo de desenformamento e o tempo de movimentação da soleira.

Dessa forma a produtividade da linha é aumentada garantindo-se as condições de desenformamento das placas nos padrões técnicos desejados. Este controle é de extrema importância quando o laminador possui altas produtividades e o forno deve se tornar o equipamento “gargalo” da linha. Nesta condição o forno deve ser explorado em sua produtividade máxima sem, contudo perder a qualidade de aquecimento da placas e nem suas condições de controle operacionais. A utilização deste controle foi especialmente importante para os aços carbono, que apresenta uma variedade de condições (comprimentos de placas variados, produtividades do laminador variadas). Normalmente estas variações são colocadas em uma mesma carga no forno, impossibilitando o uso de padrões manuais que maximizassem os ganhos.

CONTROLE AUTOMÁTICO DA CADÊNCIA DOS LAMINADORES (“MILL PACING”)

O PCP considera um tempo de laminação baseado em parâmetros operacionais fixos. O tempo efetivo para a laminação de uma placa depende das condições de processo e de operação dos equipamentos, no instante de laminação. Portanto, o tempo de laminação é variável. O modelo matemático da laminação busca otimizar a produção dos laminadores considerando as condições reais dos equipamentos e do processo. Portanto haverá situações em que o tempo de laminação será menor que o tempo previsto pelo PCP e vice-versa.

Dentro do Nível 2 da Laminação existe um sistema responsável pelo gerenciamento do rastreamento do material e dos tempos de produção envolvidos durante a laminação. A função Mill Pacing é responsável por calcular os tempos principais destinados à identificar o atual intervalo de tempo disponível entre laminações consecutivas. O produto final deste calculo é o envio otimizado do pedido de *requisição de placa* à função ACT do Nível 2 dos fornos.

3 CONTROLE AUTOMÁTICO DA CADÊNCIA DE PRODUÇÃO

A Figura 1 ilustra o funcionamento deste controle, que é composto de três módulos básicos:

- Sistema de manuseio de placas nos fornos;
- Função de Cadência dos Fornos;
- Função de Cadência dos Laminadores.

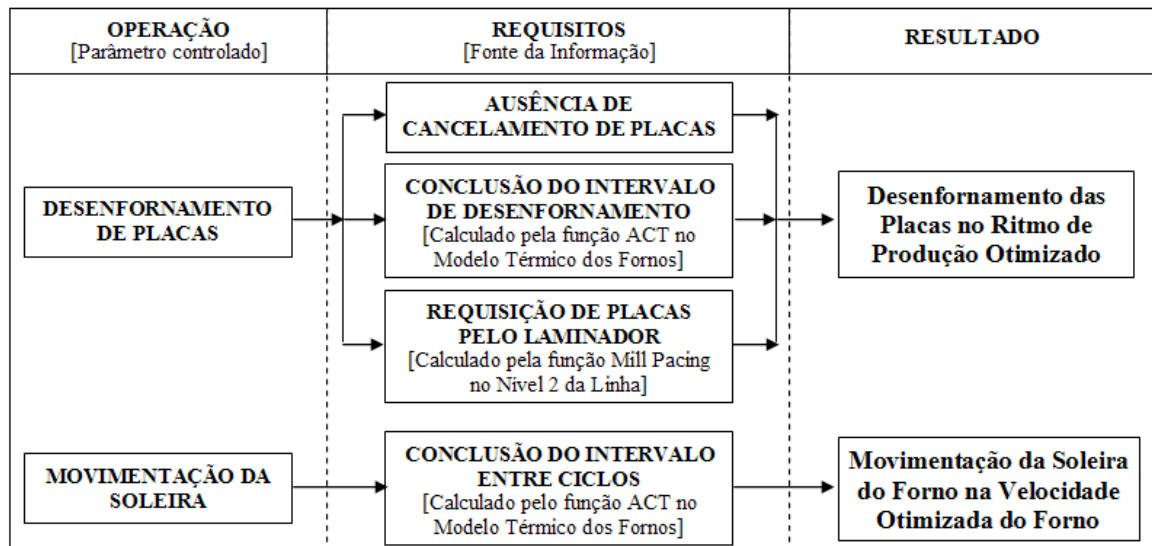


Figura 1. Diagrama de funcionamento do Controle Automático da Cadência de Produção da LTQ da Acesita.

Durante o controle automático de cadência o ritmo de produção é gerenciado pelo sistema de manuseio de placas dos fornos de reaquecimento. Isto é feito através de dois parâmetros principais, que são dinamicamente calculados pelo Modelo Matemático e atribuídos a este sistema. São eles:

- Intervalo de desenformamento: tempo para o desenformamento da próxima placa.
- Tempo para o próximo ciclo de movimentação da soleira: o tempo que a soleira deve aguardar antes de iniciar o próximo ciclo de movimentação.

Controle do Desenformamento de Placas

Para que uma placa seja liberada (desenformada e enviada ao laminador) três requisitos devem ser atendidos:

- Não deve existir nenhum cancelamento de placas.
- O intervalo de desenformamento calculado pelo Modelo Matemático deve ser atingido.
- Deve existir uma “requisição de placa” pelo laminador.

O cancelamento de placas é um recurso operacional para bloquear a saída de placas dos fornos. Durante a laminação pode ocorrer algum problema que atrase o processo, de forma que o tempo real fique acima do previsto. Os operadores têm o recurso de impedir que a próxima placa seja desenformada. Isto é feito através de um sinal que é enviado ao sistema de manuseio de placas pelo acionamento pelos operadores de um botão no painel de operação.

O Modelo Matemático dos Fornos (através da função ACT) calcula periodicamente o Intervalo de Desenformamento que deve ser utilizado e o envia como set-point ao sistema de manuseio de placa. Neste sistema existe um contador de tempo que é reiniciado sempre que uma placa é desenformada. Dessa forma, quando o tempo acumulado neste contador atinge o valor estipulado pelo set-point o processo de desenformamento é automaticamente iniciado e executado.

O terceiro requisito é fornecido pela função de Cadência dos Laminadores (“Mill Pacing”) no Nível 2 da Linha de Laminação. A “requisição de placa” corresponde a um sinal que é enviado ao sistema de manuseio de placas dos fornos quando o laminador está disponível para receber placa.

Controle da Movimentação da Soleira do Forno WB

Fora do modo de controle automático a movimentação da soleira do forno Walking Beam é feita normalmente de forma contínua, ou seja, cada vez que uma placa é desenformada a soleira avança, através de vários ciclos sucessivos, até que a próxima placa atinja a posição de desenformamento. Durante o controle automático, entretanto, é aguardado um determinado tempo entre um ciclo e outro, que é calculo pela ACT.

4 CÁLCULOS DA FUNÇÃO DE CADÊNCIA DOS FORNOS (ACT)

Tempo para Desenformamento da Próxima Placa (T_D)

O intervalo ótimo de desenformamento é calculado da seguinte forma.

$$ID_{PP} = \text{máx} (IL_{UP}, T_{CT}) \quad \text{e} \quad IL_{UP} = T_{PL}^{SM} + I_{ET}^{SM}$$

onde:

ID_{PP} : Intervalo (Tempo) para Desenformamento da Próxima Placa

T_{CT} : Tempo necessário para a placa atingir as Condições Térmicas para Desenformamento

IL_{UP} : Intervalo de Laminação previsto para o Ultimo Produto desenformado

T_{PL}^{SM} : Tempo de Laminação previsto no Laminador Acabador

I_{ET}^{SM} : Intervalo entre Tiras previsto no Laminador Acabador

Tempo para Movimentação da Soleira do Forno WB (T_{MS})

$$T_{WB} = \frac{(IL_{UP} - T_D)}{N_C} - T_{CWB}$$

onde:

T_{WB} : Intervalo para o próximo ciclo de movimentação da soleira do forno

IL_{UP} : Intervalo de Laminação previsto para o Ultimo Produto desenformado T_D : Tempo da operação de desenformamento de placas

N_C : Intervalo entre Tiras previsto no Laminador Acabador

T_{CWB} : Tempo de cada ciclo de movimentação da soleira.

5 CÁLCULOS DA FUNÇÃO DE CADÊNCIA DOS LAMINADORES (Mill Pacing)

Tempo Estimado Total de Laminação (T_E)

O cálculo do Tempo Estimado Total de Laminação (T_E) é realizado durante o evento conhecido como **ANTECIPAÇÃO**, definido como sendo o instante em que a placa é posicionada dentro do Forno de Reaquecimento como a próxima placa

a ser desenformada para laminação. A equação para determinação de tempo T_E é apresentada abaixo:

$$T_E = T_T^{RM} + \left(\sum_{i=1}^n T_{LE}^{RM}(i) + \sum_{ii=2}^n T_R^{RM}(ii) \right) + T_T^{SM} + \left(\sum_{j=1}^m T_{LE}^{SM}(j) + \sum_{jj=2}^m T_R^{SM}(jj) \right)$$

onde:

n: Número **estimado** de passes no Laminador Desbastador

m: Número **estimado** de passes no Laminador Acabador

T_T^{RM} : Tempo de transferência entre o Forno de Reaquecimento e o Laminador Desbastador

$T_{LE}^{RM}(i)$: Tempo **estimado** de laminação no Laminador Desbastador para o passe i

$T_R^{RM}(ii)$: Tempo de reversão no Laminador Desbastador entre o passe $ii-1$ e o passe ii

T_T^{SM} : Tempo de transferência entre o Laminador Desbastador e o Laminador Acabador

$T_{LE}^{SM}(j)$: Tempo **estimado** de laminação no Laminador Acabador para o passe j

$T_R^{SM}(jj)$: Tempo de reversão no Laminador Acabador entre o passe $jj-1$ e o passe jj

Os números de passes bem como o tempo estimado de laminação de cada passe nos laminadores são gerados pelo modelo matemático dos laminadores.

Utilizando as informações do plano de laminação ótimo, o modelo matemático inicia o processo de determinação dos tempos estimados de laminação e dos números estimados de passe em ambos os laminadores.

Os tempos de transferência e os tempos de reversão utilizados nesta metodologia são valores medidos da última placa laminada, realizados durante o cálculo do Tempo Atual de Laminação T_A desta placa. Entende-se que estes tempos são características mecânicas da linha de laminação propriamente ditas, sem haver influência direta das características metalúrgicas e de processo do material que esta sendo produzido.

Tempo Atual de Laminação (T_A)

O cálculo do Tempo Atual de Laminação (T_A) é realizado durante os eventos de início de processo a cada passe a ser laminado nos Laminadores Desbastador e Acabador. O Tempo Atual baseia-se nos passes realizados de laminação. Desta forma, a equação para determinação do tempo T_A é apresentada abaixo em duas situações distintas:

A) Material em processamento no Laminador Desbastador

$$T_A = T_T^{RM} + \left(\sum_{i=1}^{nr} T_{LM}^{RM}(i) + \sum_{ii=2}^{nr} T_R^{RM}(ii) \right)$$

B) Material em processamento no Laminador Acabador

$$T_A = T_T^{RM} + \left(\sum_{i=1}^{nr} T_{LM}^{RM}(i) + \sum_{ii=2}^{nr} T_R^{RM}(ii) \right) + T_T^{SM} + \left(\sum_{j=1}^{mr} T_{LM}^{SM}(j) + \sum_{jj=2}^{mr} T_R^{SM}(jj) \right)$$

onde:

nr : Número de passes **realizados** no Laminador Desbastador ($nr < n$)

mr: Número de passes **realizados** no Laminador Acabador ($mr < m$)

T_T^{RM} : Tempo de transferência entre o Forno de Reaquecimento e o Laminador Desbastador

$T_{LM}^{RM}(i)$: Tempo **medido** de laminação no Laminador Desbastador para o passe i

$T_R^{RM}(ii)$: Tempo de reversão no Laminador Desbastador entre o passe $ii-1$ e o passe ii

T_T^{SM} : Tempo de transferência entre o Laminador Desbastador e o Laminador Acabador

$T_{LM}^{SM}(j)$: Tempo **medido** de laminação no Laminador Acabador para o passe j

$T_R^{SM}(jj)$: Tempo de reversão no Laminador Acabador entre o passe $jj-1$ e o passe jj

O tempo medido de laminação de cada passe nos laminadores desbastador e acabador são realizados através de sinais enviados pelo Nível 1, indicando quando ocorreu o início do processo do passe k (instante P_1) e o final de processo do passe em questão (instante P_2). Os tempos medidos de laminação serão determinados como sendo a diferença em segundos entre os instantes P_2 e P_1 , para cada passe de laminação realizado.

Para o caso (A), o tempo de transferência entre os fornos e o laminador desbastador e os tempos de reversão no laminador desbastador são valores **medidos** para a placa que está sendo laminada.

Para o caso (B), o tempo de transferência entre os fornos e o laminador desbastador, tempos de reversão no laminador desbastador, o tempo de transferência entre o laminador desbastador e o laminador acabador e tempos de reversão no laminador acabador são também valores **medidos** para a placa que está sendo laminada.

Desta forma, pode-se facilmente determinar o Tempo Atual de Laminação do material (T_A) que está sendo produzido e compará-lo como o Tempo Estimado Total de Laminação (T_E) calculado durante a **ANTECIPAÇÃO**.

É importante ressaltar que os valores medidos citados acima serão utilizados no cálculo do Tempo Estimado Total de Laminação T_E das próximas placas a serem laminada.

Tempo Estimado Restante de Laminação (T_{ER})

O cálculo do Tempo Estimado Restante de Laminação (T_{ER}) é realizado juntamente com o cálculo do Tempo Atual de Laminação (T_A) e pode ser determinado pela diferença simples:

$$T_{ER} = T_E - T_A$$

Tempo de Espera no Laminador Acabador (T_S)

O Tempo de Espera no Laminador Acabador (T_S) é um parâmetro de ajuste manual pelo operador, função do tipo de material que está sendo laminado, podendo ser entendida como sendo o tempo mínimo de espera (tempo livre) que o operador deseja obter durante o processo de laminação. Este tempo é necessário principalmente devido à refrigeração dos cilindros de laminação e aos setups no laminador e equipamentos auxiliares para o próximo material a ser laminado.

Instante Ótimo de Desenformamento (T_O)

O Instante Ótimo de Desenformamento visa minimizar os tempos mortos intrínsecos ao processo de laminação em uma linha contínua, de forma a garantir um intervalo mínimo entre placas definido pelo operador. A metodologia é baseada nos tempos estimados e medidos da tira que está sendo laminada comparados com o tempo estimado da placa que irá ser desenformada.

Para a próxima placa determina-se o tempo estimado necessário para o material atingir o Laminador Acabador (T_{EA}) como sendo:

$$T_{EA} = T_T^{RM} + \left(\sum_{i=1}^n T_{LE}^{RM}(i) + \sum_{ii=2}^n T_R^{RM}(ii) \right) + T_T^{SM}$$

A partir do cálculo do Tempo Estimado Restante de Laminação (T_{ER}) da placa atualmente laminada, determina-se o intervalo de tempo necessário para atingir o Instante Ótimo de Desenformamento:

$$T_O = T_{ER} - T_{EA} + T_S$$

O Termo T_S foi introduzido no cálculo de forma a garantir um intervalo mínimo entre placas consecutivas no laminador acabador. Foi observado durante os testes de implantação que existe uma inércia mecânica do conjunto responsável pelo desenformamento da próxima placa a ser laminada. Em outras palavras, existe um atraso real entre o Instante Ótimo de Desenformamento e o real desenformamento da próxima placa, o que chamaremos de T_{AD} . Desta forma, podemos finalmente calcular o Instante Ótimo de Desenformamento como sendo:

$$T_O = T_{ER} + T_S - (T_{EA} + T_{AD})$$

6 OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE

O trabalho de otimização da produtividade envolveu as seguintes etapas:

- Ajustes da função de cadência (ACT) do modelo matemático dos fornos e suas interfaces com o sistema de controle de manuseio de placas (Nível 1) Paralelamente parâmetros e procedimentos de cálculo da função ACT foram adequados ao processo da ACESITA.
- Ajustes da função de cadência (Mill Pacing) do modelo matemático do Laminador e suas interfaces.
- Execução de experiência em lotes de bobinas de diferentes materiais.
- Análise de resultados: a partir dos primeiros lotes de testes foram identificados pontos de melhoria das funções de cadência.

- Refino dos ajustes da função ACT e Mill Pacing.
- Execução de novas experiências.
- Análise de resultados.
- Padronização dos procedimentos operacionais dos fornos e dos laminadores para utilização do modo de controle automático de cadência.

7 RESULTADOS

A tabela a seguir mostra o ganho de produtividade com o controle automático de ritmo de produção.

Tabela 1. Ganhos de produtividade.

FAMÍLIA DE AÇO	INOX 3XX	INOX 4XX	CARBONO	GLOBAL
GANHO DE PRODUTIVIDADE	4,7%	6,1%	3,6%	3,7%

8 CONCLUSÕES

Para a ACESITA que processa vários tipos de aços (carbono, inox e siliciosos) com uma grande variedade dimensional, o controle automático de ritmo de produção é fundamental para a otimização do processo produtivo da LTQ.

A integração dos modelos matemáticos dos fornos e dos laminadores permitiu a otimização do fluxo de produção da LTQ.

O controle automático de ritmo de produção otimiza os tempos de forno e laminação minimizando os gargalos de produção.

A otimização da produtividade da LTQ permitiu o estreitamento dos parâmetros de processo e produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Stein Heurtey. *Training document - ACTIVE FURNACE PACING (ACT)*. June 2001.
- 2 Davy International, *Level-2 Software Design Description*. January 1997.
- 3 Voest-Alpine Industries INC (EUA), *Acesita Steckel Mill Level-2 System – Functional Specification and Software Design Description*. March 2002.

Acesita Hot Strip Mill Productivity Optimization ¹

Alexandre Henrique Farah Dias ²
Arisio de Abreu Barbosa ³
Carlos Roberto Gonçalves ⁴
Fernando Jose Mendonça ⁵
Henrique de Castro Rodrigues ⁶
Itamar Vaz da Silva ⁷
Luciano Lellis Miranda ⁸
Vanderlei Alves de Oliveira ⁹

Abstract

Since 1996, Acesita Hot Strip Mill developed several modernization projects in order to eliminate obsolete equipments, increase production level, reduce production losses and increase mill production. In this point of view, Automation team participated with others teams in order to reach several marks and objectives. The current Acesita Hot Strip Mill situation allows implementing an automatic control of mill pacing production. The aim of this system is optimizing the current production level. This control is done by mill and furnace models integration with Acesita production and planning system (PCP). The results show an increase of 3.7% in the global production level. The mill and furnace models integration is the aim of this paper.

Key-words: Optimization; Pacing; Furnace; Automation.

¹ *Technical Contribution to the IX Process Automation Seminar for ABM, October 05-07, 2005, Curitiba – PR*

² *Electrical Engineer, M.Sc., ACESITA Automation Department.*

³ *Mechanical Engineer, M.Sc., ACESITA HSM Technical Department.*

⁴ *Electrical Engineer, ACESITA Automation Department.*

⁵ *Electrical Engineer, ACESITA Automation Department.*

⁶ *Mechanical Engineer, ACESITA HSM Technical Department.*

⁷ *Technical Analyst, ACESITA HSM Maintenance Department.*

⁸ *Metallurgical Engineer, ACESITA HSM Technical Department.*

⁹ *Technical Analyst, ACESITA HSM Furnaces Department.*