

# UMA NOVA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DE CUSTO E MELHORIA DE EFICIÊNCIA NO FORNO DE REAQUECIMENTO DE PLACAS DA LAMINAÇÃO A QUENTE DA ACESITA<sup>1</sup>

*Benjamin Fullin Júnior<sup>2</sup>  
Luciano Lellis Miranda<sup>3</sup>  
Marcos Antônio Araújo<sup>4</sup>  
Vanderlei Alves de Oliveira<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho, cujo objetivo foi a redução do consumo energético no forno de reaquecimento de placas da laminação a quente da Acesita, propõe uma nova estratégia de controle de potência térmica. Esta estratégia visa minimizar os efeitos causados pelo trabalho em regimes de baixa demanda, no qual os queimadores perdem eficiência, gerando alto consumo. A essência desta estratégia consiste em dotar as zonas da capacidade de produzir seu próprio combustível, produzindo uma mistura de GLP e Gás de Alto Forno, numa proporção tal que maximize os níveis de vazão, resultando numa melhoria de performance dos queimadores na região de baixa demanda. O trabalho teve início com o estudo do problema, medições em campo, discussões sobre filosofias de controle e simulações de situações de controle. Após definição da nova filosofia e sua implementação no sistema de controle, iniciou-se um roteiro de testes e ajustes começando com o forno vazio e posteriormente os produtos foram introduzidos de forma gradativa, garantindo assim os padrões de produção e qualidade. Esta nova estratégia trouxe como resultado uma redução de 2,85% no consumo energético específico global. Esta melhoria de eficiência, associada à priorização do consumo do combustível de menor custo, levou a uma redução de 7,16% no consumo específico global de GLP, gerando uma diminuição de custo anual da ordem de 1,77 milhões de reais. Além desta redução de custo foram obtidos ainda ganhos na qualidade de aquecimento das placas, melhoria no controle da atmosfera e melhoria na resposta do forno durante transições de temperaturas.

**Palavras chave:** Forno de reaquecimento; Economia de energia; Eficiência térmica; Controle de potência.

## **A NEW THERMAL POWER CONTROL STRATEGY FOR COST REDUCTION AND EFFICIENCY IMPROVEMENT IN THE HOT STRIP MILL REHEATING FURNACE OF ACESITA**

### **Abstract**

In this paper is described a new thermal power control strategy proposed in order to reduce the energetic consumption on the slab reheating furnace of the hot strip mill of Acesita. This strategy aims to minimize the effects caused by the work in low firing condition, in which the burners lose efficiency, causing a high consumption. The main point of this strategy consists in to give to the zones the capacity of producing its own fuel, making a mix of LPG and Blast Furnace Gas, in a proportion so that the level of flow rate are maximized, resulting in improvement of burners performance in the low firing condition. The work has begun with the problem study, field measurements, discussion about control strategies and simulations of control situations. After definition of the new strategy and its implementation on the control system, a schedule tests has begun initially without products. After that the products were introduced in a gradual way in order to maintain the production and quality levels. This new strategy generates a reduction of 2.85% in the global energetic specific consumption. This efficiency improvement, allied to the lower cost fuel use priority, has brought a reduction of 7.16% in the global LPG specific consumption, resulting in an annual cost reduction of 1.77 millions of reais. Additionally, there was also a slab heating quality improvement, an increase in atmosphere stability and in the furnace response time during temperature transitions.

**Key-words:** Reheating furnace; Energy saving; Gas mixing; Thermal efficiency; Thermal power control.

<sup>1</sup> *Contribuição Técnica ao 44º Seminário de de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP – Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica (Calor e Fluidos) – Gerente na Gerência de Reaquecimento de Placas da Laminação de Tiras a Quente da ACESITA.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia Mecânica (Calor e Fluidos) – Metalurgista de Processo na Gerência Técnica da LTQ da ACESITA.*

<sup>4</sup> *Técnico em Eletrônica – Analista Técnico na Gerência de Manutenção da LTQ da ACESITA S.A.*

<sup>5</sup> *Técnico em Eletrônica – Analista Técnico da Gerência de Reaquecimento da LTQ da ACESITA S.A.*

## **1 INTRODUÇÃO**

As exigências cada vez maiores do mercado, promovidas sobretudo pela globalização, têm levado as organizações a um novo cenário. Com as distâncias encurtadas neste novo mercado global, surgem concorrentes de todas as partes do mundo. Conseqüentemente, aspectos como custo de produção, qualidade e flexibilidade passam a figurar como estratégicos para a garantia de uma posição segura diante desta concorrência.

O reaquecimento do material para a laminação a quente é uma das etapas críticas da produção de chapas e bobinas a quente. Esta fase é de extrema importância para obtenção de boas condições de laminação e qualidades metalúrgica e superficial adequadas no produto final. Tudo isto deve ser obtido com a maior produtividade e o menor consumo energético possíveis<sup>(1)</sup>.

Segundo Hauck e Laia, “o processo de reaquecimento consome muita energia, podendo atingir 15 % do consumo total de uma usina integrada”<sup>(2)</sup>. No caso da ACESITA o consumo de GLP no forno WB2 representa 36 % do consumo de toda a usina. Além disso, o GLP utilizado constitui o insumo de maior peso no custo de produção da LTQ, representando 45 a 56 % do mesmo.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento realizado no forno de reaquecimento de placas WB2 da Laminação de Tiras a Quente (LTQ) da ACESITA, cujo objetivo principal foi a redução no seu consumo energético.

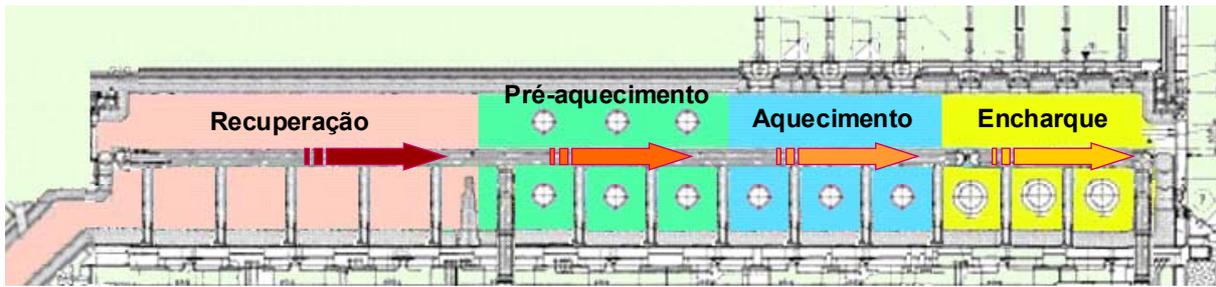
## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 A Importância da Qualidade de Aquecimento no Processo de Laminação a Quente**

Para uma boa conformação a quente as placas devem ser aquecidas a temperaturas elevadas e possuírem uma boa qualidade de encharque, ou seja, uma grande uniformidade de temperaturas no seu interior. Em geral, quanto maiores forem estas temperaturas e uniformidades, melhores tenderão a ser os resultados da laminação, como por exemplo, com cargas de laminação mais reduzidas e menores consumos de energia elétrica e de cilindros. Por outro lado, valores muito altos de temperaturas e uniformidades exigem maior gasto energético na etapa de reaquecimento das placas. Portanto, em geral, estas duas necessidades são conflitantes e é preciso encontrar um ponto ótimo entre elas.

### **2.2 O Sistema de Controle de Combustão no Forno Walking Beam 2**

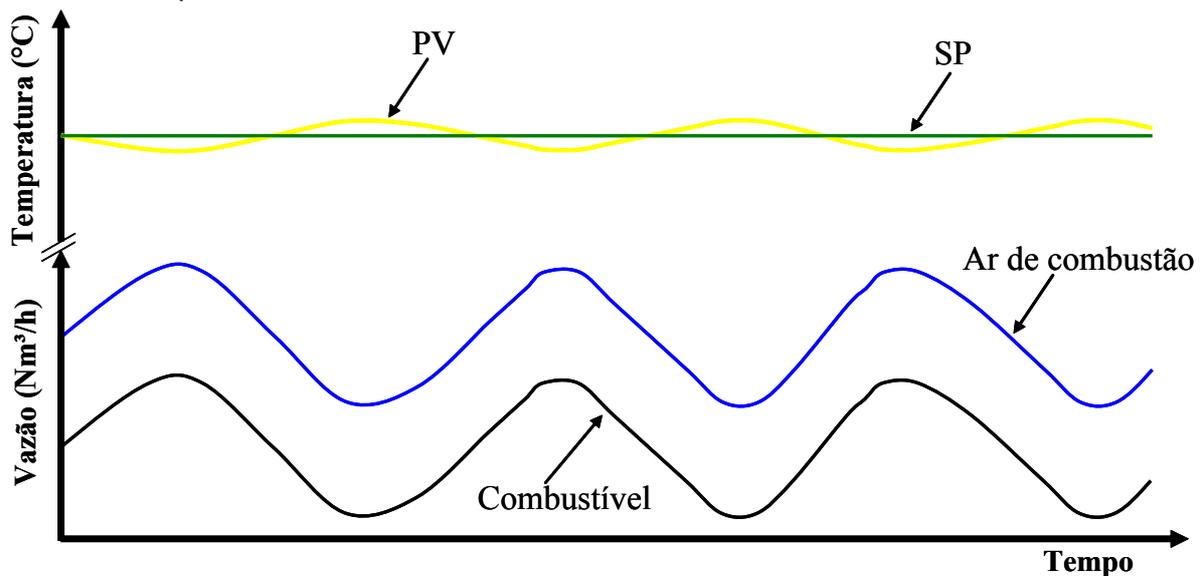
O forno em questão divide-se em 4 seções: recuperação, pré-aquecimento, aquecimento e encharque (Figura 1). Na seção de recuperação não existem queimadores e parte da energia contida nos gases de exaustão, provenientes das demais seções, é transferida para a carga por radiação e por convecção. As zonas das demais seções são providas de queimadores, através dos quais entram no forno o combustível e o ar necessários à combustão. É através da combustão que é gerada a energia necessária para o aquecimento das placas. Os queimadores nas zonas superiores de aquecimento e encharque são do tipo chama plana (teto) enquanto nas demais zonas são queimadores de chama longa (laterais).



**Figura 1** - Corte longitudinal do Forno Walking Beam 2.

Os queimadores, por meio de malhas de controle realimentadas por sensores de temperatura, processam a queima do combustível com ar na medida necessária para atingir as temperaturas determinadas na curva de aquecimento de cada produto.

O processo de controle de combustão se dá através da modulação de vazão de combustível, com a conseqüente modulação do ar de combustão para atender a demanda (set-point) de temperatura. Na Figura 2 é mostrada a dinâmica do sistema de controle que, baseado no desvio resultante entre a referência de temperatura (Set Point – SP) e o valor de temperatura medido (Process Variable – PV), incrementa ou decrementa as vazões de combustível e de ar de combustão visando manter a temperatura dentro dos limites estabelecidos.

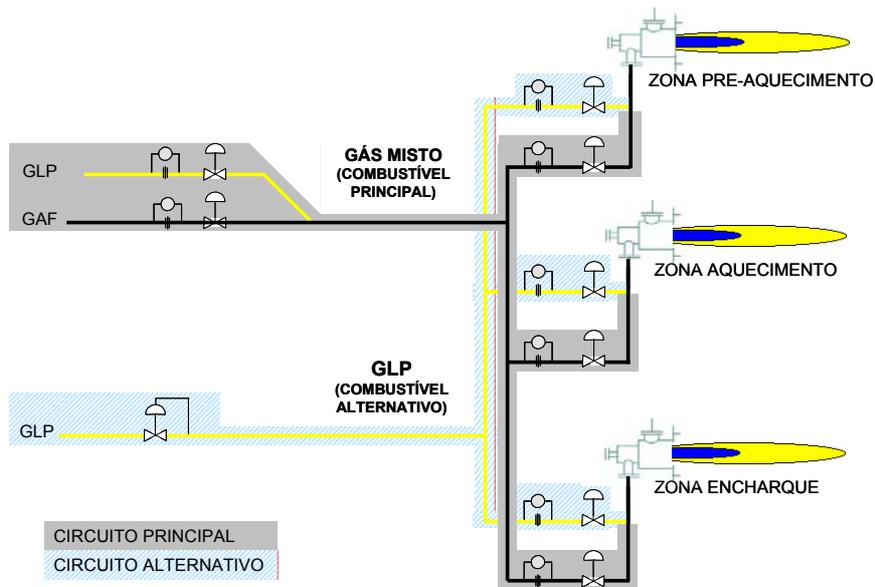


**Figura 2** – Esquema da dinâmica de funcionamento do sistema de controle de combustão

O projeto original do forno WB2 prevê duas alternativas de combustíveis:

1. Combustível principal: Gás Misto (GLP + GAF);
2. Combustível alternativo: GLP (GLP diluído com ar).

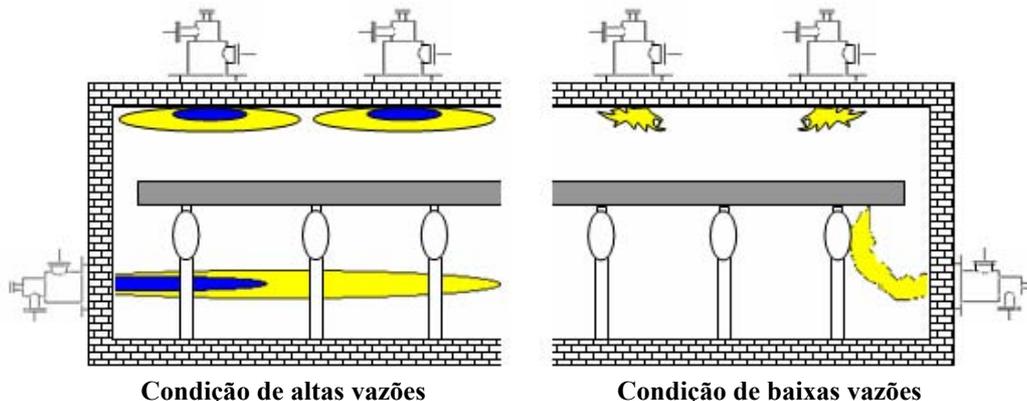
O combustível principal é usado na maior parte do tempo. Quando há falta ou disponibilidade limitada de GAF o combustível alternativo pode ser usado em zonas individuais ou em todo o forno. Para estas alternativas existem dois circuitos independentes de combustíveis até a entrada dos queimadores conforme mostra a Figura 3.



**Figura 3** – Circuitos de fornecimento dos combustíveis Principal (Gás Misto) e Alternativo (GLP) no forno WB2.

### 2.3 A Influência da Vazão nos Queimadores

A performance dos queimadores, particularmente os laterais, sofre forte influência dos níveis de vazão. Quando se tem altos valores de vazão, na faixa de 70 a 80%, o queimador funciona em sua região ótima, com uma boa qualidade de chama e com excelente rendimento térmico. No caso contrário, com vazões inferiores, se perde a qualidade de chama, causando baixo rendimento térmico nos queimadores, necessidade de altos valores de excesso de ar, má uniformidade de temperatura na placa, aquecimento localizado, controle de atmosfera deficiente e por conseguinte alto consumo energético. A Figura 4 exemplifica estas situações.



**Figura 4** – Comparação entre as situações de altas e baixas vazões no forno.

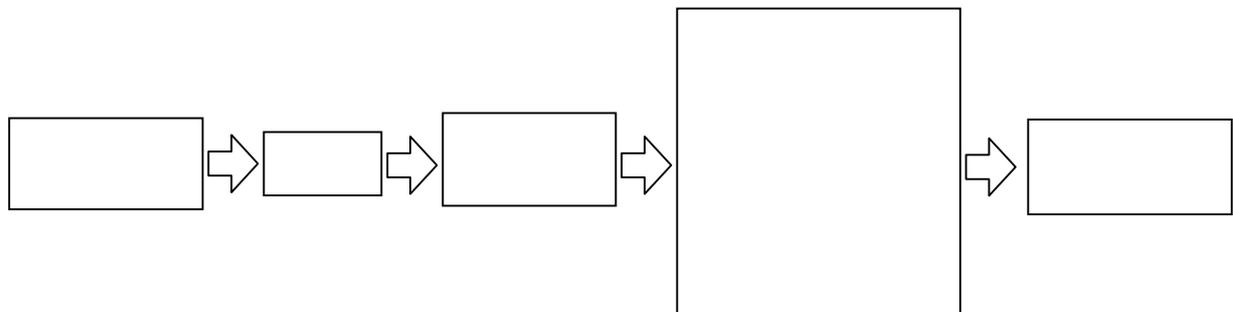
Como já visto anteriormente, a mudança constante de patamares de vazão para atender as necessidades de temperatura é uma característica deste sistema de controle, portanto estes efeitos são inerentes a ele, sendo acentuados em paradas inesperadas e de longa duração, quando as vazões diminuem bastante. Quando ocorre algum problema na laminação que impede a continuação da laminação o forno é mantido com a carga parada. Além disso, a manutenção das placas a altas temperaturas durante tempos longos traz efeitos maléficos que devem ser evitados: superaquecimento, maior perda por oxidação, risco de empeno das placas no interior do forno, entre outros. Tudo isto exige que, nestas situações as temperaturas

do forno sejam abaixadas durante a parada. Ocorre então uma diminuição severa das demandas térmicas no forno.

As vazões mais altas também contribuem para um aumento das transferências de calor por convecção no interior do forno, pois além das maiores velocidades de entrada dos gases através dos queimadores há também um aumento do volume destes no interior do forno. Embora cerca de 90 % da transferência de calor para as placas ocorra por radiação, a convecção tem uma grande importância na uniformidade de temperaturas no interior do forno e conseqüentemente nas placas. A transferência de calor por radiação é extremamente direcional e pode causar não uniformidade de aquecimento na carga. Com a presença da convecção obtém-se uma maior uniformidade no aquecimento.<sup>(3)</sup>

## 2.4 O Problema de Controle

Analisando o problema em profundidade constata-se que a causa fundamental do problema é a necessidade de redução de potência.



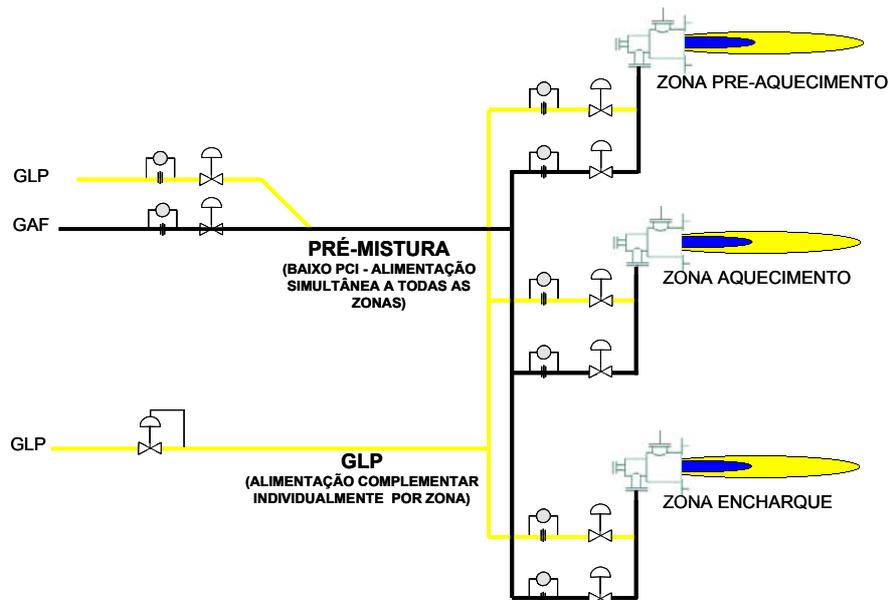
Como a necessidade de redução de potência é inerente ao processo, tornou-se necessário pesquisar uma forma de reduzir a potência, sem diminuir a vazão a níveis que prejudicassem a performance dos queimadores.

## 2.5 A Nova Estratégia de Controle

A solução encontrada foi trazer para as zonas a possibilidade de fazer sua própria mistura, obtendo um gás com PCI adequado às suas necessidades individuais de potência e mantendo vazões altas o suficiente para se ter uma boa performance nos queimadores na maior parte da faixa de controle, sem no entanto comprometer o controle de temperatura.

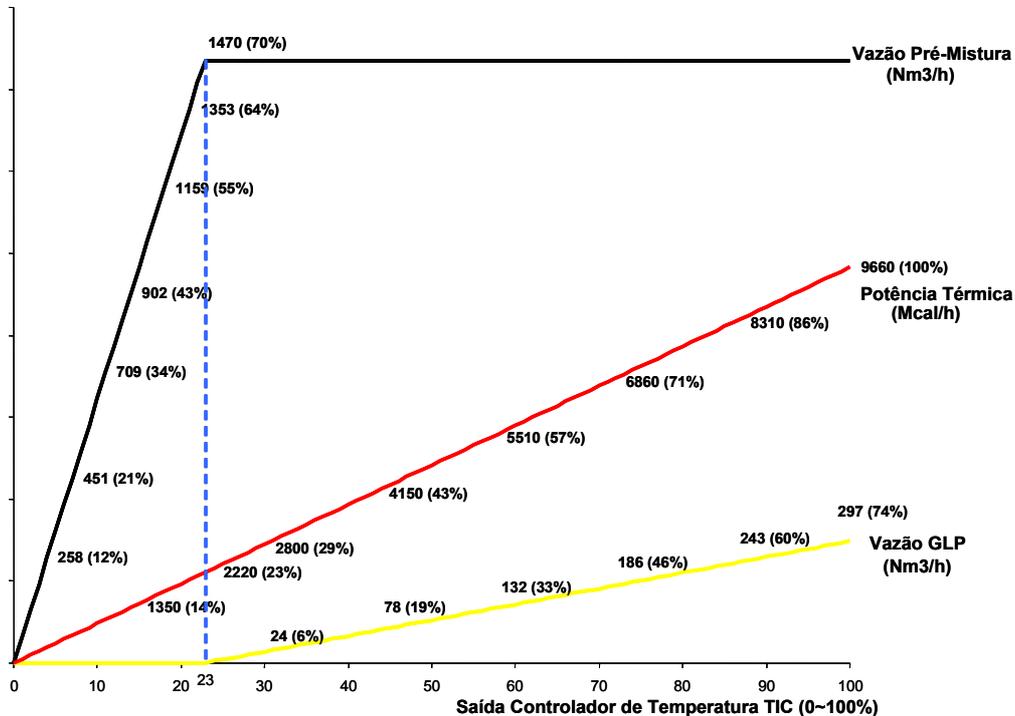
Para viabilizar esta estratégia ambos os circuitos de combustíveis do forno precisaram ser usados. Dessa forma, o circuito de GLP puro, que originalmente tinha a finalidade exclusiva de manter o forno em funcionamento em casos de falta ou disponibilidade reduzida de GAF, passou a ser parte fundamental da nova estratégia do sistema de controle.

Conforme ilustra a Figura 5, a mistura dos gases passou a ser feita em duas etapas. A primeira ocorre na estação de mistura, formando o que agora se denomina “Pré-Mistura”, onde é ajustado um valor de PCI que assegure altos níveis de vazão em todo forno na maior parte possível da faixa de controle de potência. A segunda etapa ocorre na própria zona, adicionando à pré-mistura apenas a vazão de GLP estritamente necessária para atender a demanda de potência da zona.



**Figura 5** – Circuito de fornecimento de combustível na nova estratégia de controle de combustão no forno WB2.

Para fazer a mistura da zona é utilizada uma estratégia de controle de combustível preferencial, priorizando a utilização da “Pré-Mistura” em detrimento do GLP. Desta forma garantem-se altos níveis de vazão na maior parte da faixa de controle de potência, conforme ilustra a Figura 6. Nesta figura é mostrado um exemplo de uma zona com potência térmica instalada de 9.660 Mcal/h, onde a vazão ótima da pré-mistura foi ajustada em 70% e o PCI da pré-mistura em 1500 kcal/Nm<sup>3</sup>.



**Figura 6** – Esquema de funcionamento da nova estratégia de controle de potência no forno.

Neste exemplo a vazão da pré-mistura será constante na maior parte da faixa de controle, sendo modulada somente quando a demanda térmica for inferior a energia entregue pela vazão ótima da pré-mistura. A vazão de GLP só se fará presente quando a demanda for superior a energia máxima da pré-mistura e será ajustada

num valor tal que complemente a energia demandada pelo sistema. Ou seja:

- Vazão Ótima = 70% da vazão máxima (1470 Nm<sup>3</sup>/h)
- Energia Máxima Pré-mistura = Vazão Ótima x PCI da Pré-mistura  
= 1470 Nm<sup>3</sup>/h x 1500 kcal/Nm<sup>3</sup> = 2.205 Mcal/h

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Se demanda} < \text{Energia máxima da Pré-mistura} \\ \text{Então:} \\ \text{Vazão da Pré-mistura (Nm}^3/\text{h)} = \text{Demanda (kcal/h)} / 1.500 \text{ kcal/Nm}^3 \\ \text{Vazão de GLP} = 0 \\ \text{Senão:} \\ \text{Vazão da Pré-mistura} = 1.470 \text{ Nm}^3/\text{h}; \\ \text{Vazão de GLP (Nm}^3/\text{h)} = (\text{Demanda (kcal/h)} - \text{Energia Pré-mistura (kcal/h)}) / \text{PCI GLP (kcal/Nm}^3) \end{array} \right.$$

Na forma de controle tradicional as velocidades de ar e combustível aumentam linearmente com o aumento da potência utilizada nas zonas. As velocidades do ar são maiores que as de combustível, sendo ele então o maior responsável por dar estabilidade à chama.

Com a nova estratégia as velocidades do combustível nos queimadores aumentam significativamente, gerando uma melhoria na estabilidade da chama, particularmente em situações de baixa demanda térmica. Na Figura 7 é mostrado um exemplo dos perfis de velocidades do ar e do combustível nas duas situações: no sistema tradicional e no novo. Observa-se que para potências superiores a aproximadamente 35% há um aumento da contribuição da velocidade do combustível na estabilidade da chama. Para patamares inferiores a este valor há praticamente uma inversão de papéis, ou seja, como a velocidade do combustível é superior à do ar ele passa a ser o maior responsável por dar estabilidade à chama.

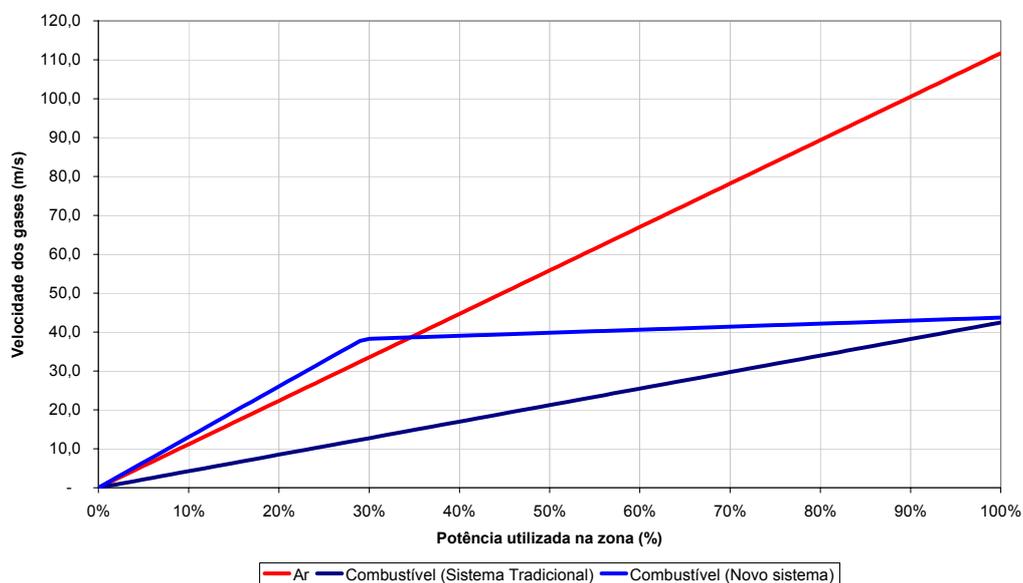


Figura 7 – Comparação dos perfis de velocidade dos gases nos queimadores.

## 2.6 Implantação da Nova Estratégia de Controle

O desenvolvimento e a implantação do projeto foram realizados em várias etapas, começando-se com o estudo do problema e a concepção de uma nova forma de controle que permitisse alcançar os objetivos desejados. A implantação do projeto se

deu de forma gradativa, de maneira a não comprometer a produção nem a qualidade dos produtos. O sistema foi inicialmente pré-testado no forno vazio e após a devida programação no PLC de controle de combustão do forno WB2 passou a ser testado em lotes crescentes de materiais. A cada lote as características do processo e a qualidade dos produtos eram verificadas. Durante os testes alguns ajustes foram feitos no sistema de controle e nas referências de PCI da pré-mistura. O valor de referência para o PCI a ser usado para a pré-mistura foi ajustado de forma a garantir altas vazões no forno e ao mesmo tempo diminuir a necessidade de vazão complementar de GLP nas zonas. A partir de outubro/2006 toda a produção do forno WB2 passou a ser feita com a utilização plena do novo sistema. Não foram observados efeitos colaterais negativos, pelo contrário, vários outros efeitos benéficos foram sendo identificados ao longo do andamento dos testes. A Tabela 1 a seguir mostra um resumo das etapas do desenvolvimento do projeto.

**Tabela 1** – Etapas do desenvolvimento da nova estratégia de controle de potência no forno.

ETAPA	PERÍODO	% UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO
Discussão e concepção da nova forma de controle	Out a Dez/2005	
Testes preliminares	Jan e Fev/2006	
Programação do sistema de controle (PLC)	Fev a Abr/2006	
Testes durante paradas de linha (preventivas)	Abr e Mai/2006	
Início dos testes com material (Carbono)	Mai e Jun/2006	3%
Testes com Carbono e Siliciosos GNO	Jul/2006	30%
Testes com Carbono, Siliciosos GNO e Inoxidáveis (exceto P430A)	Ago/2006	64%
Testes com todos os materiais (incluindo P430A e Silicio GO)	Set/2006	96%

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Redução do Consumo Energético

A utilização deste sistema garante a manutenção de um patamar de vazão nas zonas entre 65 e 90% durante a maior parte do funcionamento normal do forno. Além disso, em momentos de parada de linha, quando a demanda térmica no forno cai sensivelmente devido a abaixamento de temperatura, garante-se um patamar de vazão bem maior do que no sistema tradicional. Com o novo sistema, as vazões só tenderão a diminuir com demandas térmicas extremamente baixas.

Este patamar de vazão mais alto gera um aumento das trocas térmicas por convecção no interior do forno, devido aos seguintes fatores:

- A velocidade de entrada dos gases no forno é maior;
- O volume de gás no interior do forno é maior.
- A circulação dos gases no interior do forno se torna mais intensa, e estes escoam com velocidades maiores no contato com as placas.

Além disso, como os queimadores são normalmente projetados para um desempenho otimizado em uma faixa de vazões entre 65 e 90%, a garantia deste nível de vazão conduz a um melhor desempenho dos mesmos durante a maior parte de funcionamento do forno. Este fato, juntamente com o aumento da convecção, gera um aumento da eficiência térmica no forno. O resultado principal desta melhoria de eficiência é uma **redução do consumo energético**.

Como mostrado anteriormente, a forma de operação do novo sistema prioriza a utilização do gás energeticamente mais pobre. Como já descrito anteriormente, uma pré-mistura básica “pobre”, ou seja, com PCI mais baixo, é provida através da

estação de mistura gerando energia para o aquecimento. Enquanto esta pré-mistura “pobre” for suficiente para suprir a demanda energética no forno, não haverá consumo adicional de GLP. Somente a partir do momento em que esta demanda se tornar maior do que a energia total disponível através da pré-mistura é que a vazão de GLP começará a aumentar. O reflexo disto, é um outro ganho, que se adiciona à redução do consumo energético descrita anteriormente, ou seja, **redução do consumo total de GLP** ao mínimo estritamente necessário. Além disso, quanto mais baixo for o PCI da pré-mistura maior será a proporção de GAF na mesma.

Em resumo, existem duas contribuições para redução do consumo de GLP: primeiramente o aumento da eficiência térmica no forno reduz a demanda de GLP, e proporcionalmente de GAF; adicionalmente, através da maximização da utilização da pré-mistura, e conseqüentemente de GAF, promove-se uma substituição da fonte energética mais rica (GLP) pela a mais pobre (GAF).

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais resultados de redução do consumo energético específico global e do consumo específico de GLP. Para apuração destes resultados a maioria das variáveis que afetam o consumo de combustível foram filtradas, ou seja, PCI do GAF, temperatura de enforamento, temperatura de desenforamento, uniformidade de temperatura da placa e produtividade. Dessa forma, os lotes de material com e sem a utilização do novo sistema foram comparados em condições semelhantes de processo.

**Tabela 2 – Reduções nos consumos energéticos e de GLP obtidos.**

	Mix	Produção (t)	Redução de consumo de GLP		Redução de consumo energético	
			(kg/t)	%	Mcal/t	%
Inoxidáveis Austeníticos	26,10%	17373	2,02	7,10%	13,21	3,88%
Inoxidáveis Ferríticos	25,91%	17247	1,56	6,04%	4,95	1,56%
Carbono	16,05%	10683	2,09	7,57%	11,25	3,32%
Siliciosos GNO	22,49%	14971	1,26	5,61%	7,95	2,87%
Siliciosos GO	7,93%	5277	3,01	10,43%	0,74	0,20%
Chapa Grossa	1,53%	1019	6,93	17,57%	48,74	10,07%
<b>Global</b>	<b>100,00%</b>	<b>66570</b>	<b>1,89</b>	<b>7,16%</b>	<b>9,23</b>	<b>2,85%</b>

Observa-se uma redução de 2,85% no consumo energético específico global e de 7,16% no consumo específico global de GLP. Considerando esta redução de consumo de GLP obtém-se uma redução de custo anual de 1,776 milhões de reais.

### 3.2 Maximização do Uso do GAF

Através da priorização do consumo da pré-mistura houve uma maximização do consumo de GAF, gerando um aumento da ordem de 25% na vazão média consumida pelo forno. Dessa forma, a nova estratégia contribui para um melhor aproveitamento energético na planta da Acesita uma vez que, se este excedente de gás não fosse aproveitado no forno, provavelmente seria queimado na atmosfera.

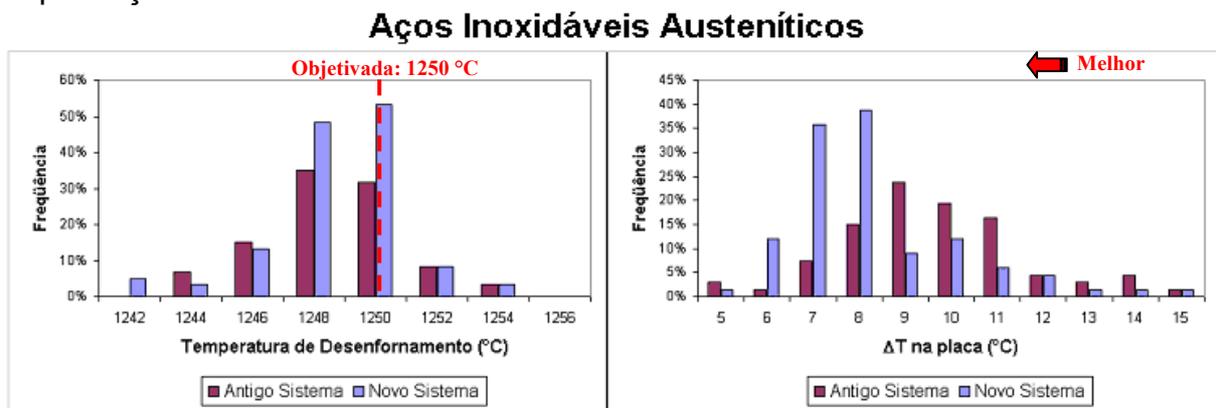
### 3.3 Melhoria do Aquecimento das Placas

Além dos ganhos de redução do consumo energético e da melhoria de eficiência térmica no forno, um outro ganho extremamente importante foi a melhoria da qualidade de aquecimento das placas. Como este é o objetivo principal de um forno de reaquecimento este ganho torna-o mais eficiente no cumprimento de sua tarefa.

Este ganho se deve basicamente a 2 fatores: aumento das trocas térmicas por convecção entre os gases e as placas, melhor comportamento da chama evitando a possibilidade de aquecimento localizado nas placas.

Quando se trabalha a redução de consumo energético em fornos de reaquecimento, normalmente se observa como efeito colateral algum prejuízo na qualidade de aquecimento do produto. No caso deste projeto observou-se o contrário: redução de consumo aliada à melhoria na qualidade de aquecimento.

Um reflexo destas melhorias pode ser percebido analisando-se a qualidade de aquecimento dos materiais, representados sucintamente pela temperatura média e pela uniformidade de temperatura das placas no desenformamento. O gráfico da Figura 8 mostra um exemplo para os aços inoxidáveis austeníticos. Neste gráfico são apresentadas comparações destas características térmicas antes e após a implantação do novo sistema.



**Figura 8** – Comparação das características térmicas das placas no desenformamento antes e após a implantação do novo sistema (Período de análise: Jan/2006 a Abril/2007).

Observa-se que com o novo sistema ocorre uma melhoria de encharque nas placas, ou seja, o valor de  $\Delta T$  diminui a partir do momento em que o novo sistema passa ser utilizado. Além disso, a temperatura média de placa no desenformamento é ligeiramente deslocada para cima, aproximando mais do valor objetivado.

### 3.4 Melhoria no Controle e Estabilidade da Atmosfera do Forno (Teor de $O_2$ Livre e Pressão)

Como o volume de gases no interior do forno é mantido alto na maior parte do tempo o controle da atmosfera e da pressão interna do forno sofre menos variações. Dessa forma, uma estabilidade maior destas duas variáveis é garantida. Este ganho é particularmente importante durante paradas de linha. Nestas ocasiões, com o sistema de controle tradicional, todos os efeitos maléficis expostos anteriormente são inevitáveis. Além disso, o controle da atmosfera do forno fica comprometido, e na maioria dos casos o teor de oxigênio ultrapassa os limites máximos estabelecidos para o processo. Com a diminuição do volume de gases no interior do forno também o controle de pressão é dificultado, podendo ocorrer então a entrada de ar frio através das portas.

Com a nova estratégia, mesmo durante estes momentos de paradas, é possível manter as vazões elevadas no forno por um tempo maior. Se a parada não for muito longa, as vazões nem chegam a atingir os patamares críticos que geram baixo desempenho dos queimadores e as dificuldades de controle de pressão e atmosfera. Nesta situação, através da diminuição do PCI da pré-mistura até seu limite inferior,

evita-se que as vazões diminuam e economiza-se GLP. A figura 9 mostra uma comparação do teor de oxigênio livre em dois momentos no forno: um sem o novo sistema e outro com o mesmo.

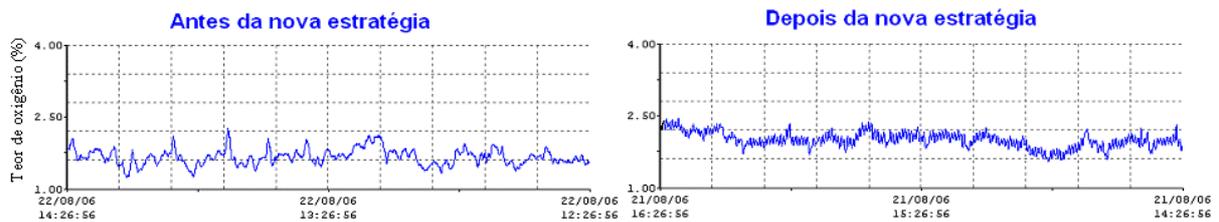


Figura 9 – Comparação do teor de oxigênio livre no interior do forno.

### 3.5 Melhoria da Estabilidade da Chama nos Queimadores

Como descrito anteriormente, a garantia de altas vazões no queimadores faz com que estes trabalhem na faixa de controle ideal e, dessa forma, garantem uma boa qualidade de chama. Isto significa que a chama permanece “firme” e não tende a tocar a superfície da placa, o que poderia gerar aquecimento localizado. Este problema era muito comum nos aços inoxidáveis P430E. Devido às baixas temperaturas de forno utilizadas as demandas eram geralmente muito baixas e a condição de baixas vazões era comum. Nestas condições, a chama se tornava muito instável e tendia a tocar a superfície da placa causando aquecimento localizado, o que contribuía para a possibilidade de ocorrência do defeito “esfoliação por skids”. Para contornar este problema, foi desenvolvido um artifício de usar excesso de ar de 50% na zona de aquecimento inferior, onde o problema era mais crítico. Isto ajudava a aumentar a velocidade do ar nos queimadores de forma a diminuir a instabilidade da chama. Porém, o efeito colateral desta medida era um maior consumo energético, uma vez que aproximadamente 40% do ar que entrava no forno não tinha nenhuma função no processo de combustão e controle de atmosfera, e constituía uma massa de ar excedente a ser aquecida. Com a nova estratégia de controle, o problema encontrado com a situação de baixa demanda foi eliminado. Isto tornou possível eliminar o artifício utilizado, voltando o excesso de ar para os valores mais coerentes (menores que 15%).

### 3.6 Aumento da Flexibilidade do Forno Durante Transições de Temperaturas

Com o uso do novo sistema, a possibilidade de ajustes individuais diferenciados de potência das zonas tornou-as mais independentes umas das outras, contribuindo positivamente nos processos de transição. Por outro lado, a maior circulação de gases no interior do forno aumentou a interdependência entre as zonas, contribuindo negativamente nos processos de transição. Estes dois efeitos se contrapõem e em alguns casos o segundo oferece maior dificuldade no controle. Entretanto, de acordo com as observações feitas durante os processos de transição, na maioria dos casos, o primeiro efeito é mais influente, tornando a resposta do forno maior às necessidades de mudanças de temperaturas ao longo de seu comprimento.

## 4 CONCLUSÕES

Diante do contexto das necessidades de alta flexibilidade, boa qualidade e custos mínimos para uma competitividade no mundo globalizado, o presente trabalho surgiu como uma resposta a toda esta dinâmica, na medida em que apresenta uma nova

estratégia de controle de potência no Walking Beam 2 da LTQ, que por sua vez gerou vários resultados importantes como:

- redução significativa no consumo energético e no consumo específico de GLP no forno, sem diminuição das temperaturas e das uniformidades de temperaturas das placas.
- melhoria nas variáveis de processo do forno, tais como pressão e teor de O<sub>2</sub> livre, e ainda na qualidade de aquecimento das placas em vários aços, contribuindo assim para os resultados de qualidade.
- aumento de flexibilidade do forno, devido à uma resposta mais rápida e adequada durante os processos de transição de material.
- maximização do uso do GAF, contribuindo para uma melhor racionalização dos recursos energéticos, tanto no forno WB2 quanto na planta da usina.

A nova estratégia permitiu uma redução de 2,85% no consumo energético global e ainda, através da maximização do uso do GAF, levou à redução de 7,16% no consumo específico global de GLP. Considerando esta redução de consumo de GLP uma redução de custo anual de 1,776 milhões de reais foi obtida.

Quando se trabalha a redução de consumo energético em fornos de reaquecimento, normalmente se observa como efeito colateral algum prejuízo na qualidade de aquecimento do produto. No caso deste projeto observou-se o contrário: redução de consumo aliada à melhoria na qualidade de aquecimento, além de maior estabilidade em variáveis de processo tais como teor de oxigênio livre e pressão interna do forno.

Um outro aspecto importante é que todo o desenvolvimento foi realizado sem necessidades de investimento, utilizando apenas recursos já disponíveis no equipamento.

## REFERÊNCIAS

- 1 MIRANDA, L. L. **Análise do problema da convecção térmica no interior de fornos de reaquecimento**. Belo Horizonte, 2006. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica: Calor e Fluidos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 2 HAUCK, G. A. C.; LAIA, L. L. **Fornos de reaquecimento**. São Paulo: ABM, 2000. Maio.
- 3 JEDDY, F. H.; JOG, M. A.; SEKHAR, J. A.; MARKLE, R. D.; SARVEPALLI, V.; BURADA, R. Convective heating below 1000°C. **Advanced Materials and Processes**, v.156, n.4, p.213-215, October 1999.