

IMPLEMENTAÇÃO DE BALANÇOS TÉRMICOS *ON LINE* NOS FORNOS DE REAQUECIMENTO DA LINHA DE TIRAS A QUENTE DA USIMINAS¹

Antônio Adel dos Santos²
Marcos Henrique Teixeira³
Geraldo Arruda Maia⁴

Resumo

Apresenta-se o desenvolvimento e a implantação de uma função, no Sistema de Otimização dos Fornos de Reaquecimento da Linha de Tiras a Quente (LTQ) da Usiminas, para realizar balanços térmicos em tempo real, com o objetivo de monitorar o consumo de combustível e a distribuição das parcelas de entrada e saída de calor desses Fornos. Os cálculos são realizados a partir de dados coletados em tempo real, tais como vazões de combustível e ar, temperaturas diversas dos Fornos e material em processamento. Para isso, foram desenvolvidas rotinas em Fortran e programas em Linguagem C, no ambiente do Sistema Operacional Open-VMS. Os balanços térmicos são realizados, automaticamente, por hora, por turno e por dia, e armazenados para análise por tempo determinado. Além disso, pode ser solicitado o cálculo desse balanço, num intervalo de tempo qualquer nas últimas 24 horas. Os resultados do balanço são úteis para o acompanhamento do desempenho dos Fornos, não somente em termos de consumo específico de combustível, mas também das parcelas de entrada e saída de calor, o que possibilita uma diagnose voltada para um melhor aproveitamento energético no equipamento.

Palavras-chave: Fornos de reaquecimento; Balanço térmico; Controle de processo.

ON LINE HEAT BALANCE IN REHEATING FURNACES OF USIMINAS HOT STRIP MILL

Abstract

This paper is aimed to present the development and implementation of a function for on line calculation of heat balances in Reheating Furnaces of Usiminas Hot Strip Mill Line. This function was introduced within the existing on line optimization system. The heat balance provides not only the overall heat consumption but also the inherent energy input and output. In order to carry out the heat balance, on line operational data such as fuel flow rate, furnace temperature and processing material are acquired and hourly averaged. It was necessary to develop routines using Fortran and C languages within the operational System Open/VMS. The implemented heat balances are automatically calculated in an hourly, by shift and daily basis. Moreover, specific heat balance may be required over whatsoever period of time within the last 24 hours. The results obtained by the heat balance are useful for the management of operational performance of the reheating furnaces. This makes it possible to realise permanent diagnosis towards achieving higher energy efficiency in the furnaces.

Key words: Reheating furnaces; Heat balance; Process control.

¹ *Contribuição Técnica ao 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM – Curitiba, PR 17 a 20 de outubro de 2006.*

² *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc., CQE/ASQ, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.*

³ *Membro da ABM; Engenheiro Eletricista, M.Sc., Superintendência de Projetos, Automação e Instrumentação da Usiminas; Ipatinga, MG.*

⁴ *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, CQE/ASQ, Superintendência de Laminação a Quente da Usiminas; Ipatinga, MG.*

1 INTRODUÇÃO

A introdução de novas práticas e de melhorias nos processos tem sido buscada de forma constante nas usinas siderúrgicas, visando-se melhorar o seu desempenho global. Um dos objetivos destas ações está voltado para a minimização do seu elevado consumo energético, que é uma característica marcante da atividade siderúrgica. Nos processos de laminação a quente dos aços, os fornos de reaquecimento de placas são os responsáveis pela maior parcela de consumo de energia, situando-se em torno de 50% do custo de transformação da placa em produto laminado a quente.

A aplicação de balanços térmicos em fornos de reaquecimento é uma importante ferramenta para avaliação de controle operacional do equipamento, uma vez que informa, além do consumo global de combustível, a distribuição das parcelas de entrada e saída de energia. Isso serve de orientação para definir ações visando otimizar o consumo de combustível e preservar os equipamentos.

Nos Fornos de Reaquecimento das Linhas de Tiras a Quente (LTQ) e de Chapas Grossas da Usiminas, os balanços térmicos têm sido realizados com certa frequência, desde 1981, quando do desenvolvimento de sua metodologia.⁽¹⁾ Porém, é uma tarefa relativamente onerosa e demorada, pois demanda o levantamento em campo de um grande volume de dados de processo, a amostragem e análise de combustíveis e de fumaça, além do posterior tratamento de dados. Com isso, fica inviável sua execução rotineira.

Diante dessa situação, decidiu-se implementar, no Sistema de Otimização dos Fornos de Reaquecimento da LTQ, a realização de balanços térmicos em tempo real de processo. Todo trabalho de implementação foi realizado dentro de um pacote de investimento, no qual foram introduzidas diversas melhorias no Sistema de Otimização e a geração de um banco de dados para monitoramento da qualidade no processo. O balanço é realizado automaticamente a cada hora, turno de trabalho e dia, e sob solicitação, para qualquer período dentro das 24 h anteriores à solicitação. Nenhuma interferência manual é requerida, de forma que dados, anteriormente levantados através de medições manuais, tiveram de ser calculados ou medidos com a instalação de novos sensores. Os resultados dos balanços térmicos horário/turno, diário e solicitado são armazenados por um período de 6 meses, 35 dias e os 20 últimos, respectivamente.

O objetivo deste trabalho é mostrar, sucintamente, as características básicas da metodologia do balanço térmico implementado e a sua utilização como ferramenta gerencial e operacional.

2 FORMULAÇÃO DO BALANÇO TÉRMICO

Os Fornos de Reaquecimento da Linha de Tiras a Quente da Usiminas foram projetados para queimar uma mistura de combustíveis gasosos (COG, BFG e LDG). Atualmente, no entanto, devido à alta demanda por COG, as zonas de preaquecimento foram adaptadas para queimar óleo (2A ou ODA – óleo derivado do alcatrão), de forma que tem sido uma prática constante a utilização de óleo, simultaneamente ao gás misto nas demais zonas. Portanto, o balanço térmico tem que considerar essa combinação de combustíveis.

A temperatura de referência para o balanço térmico é a ambiente, tomada como 30°C. Com isso, as parcelas de entrada e saída de calor são mostradas esquematicamente na Figura 1. Ressalta-se que, por convenção, ao calor de

combustão foi atribuído o percentual de 100%. A unidade para o cálculo das parcelas de calor é Mcal/t, ou, alternativamente, Mcal/h, e são também expressas em termos do percentual relativo ao calor total de combustão. Uma vez que o balanço térmico representa uma situação média do forno no período de aquisição dos dados, todas as variáveis são utilizadas com os seus valores médios no período do balanço. A maior parte dos dados, tais como as vazões e temperaturas, são obtidos pelo DCS (*Digital Control System*). Alguns dados restantes são obtidos pelo computador de processo e outros valores de variáveis são dados históricos armazenados.

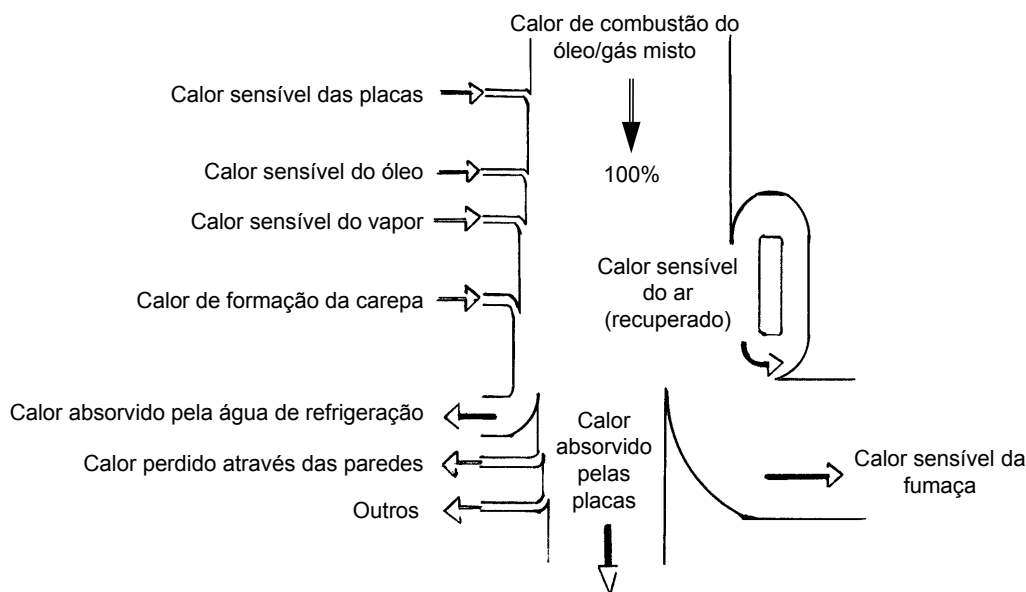


Figura 1. Representação esquemática do balanço térmico implementado.

2.1 Entradas de Calor

A principal parcela de entrada de calor no forno é o calor de combustão, dado pelo produto da vazão do óleo ou do gás misto pelo seu calor específico inferior (PCI). No caso do óleo, o PCI é um dado histórico (valor fixo obtido por análises do combustível). Também pode ser calculado com base em sua composição química, ou ainda fornecido como entrada manual. Para o gás misto, o PCI é obtido do valor medido na estação misturadora; na ausência deste, é calculado a partir de sua composição química.

A parcela de calor sensível das placas é calculada em função da sua temperatura de enforamento média no período do balanço, obtida com o pirômetro na mesa de enforamento. Evidentemente, quando o material é enforado a frio, essa parcela é nula.

No caso da queima de óleo, são realizados os cálculos das parcelas de calor sensível do óleo, injetado em torno de 90°C, e do vapor de nebulização, injetado em torno de 180°C. São feitos cálculos diretos de sua entalpia em função destas temperaturas.

O ar de combustão entra preaquecido pelo recuperador e, no cálculo de seu calor sensível, é levado em conta o teor de umidade presente. Esse calor é ainda função da temperatura de preaquecimento e da vazão.

Finalmente, uma pequena parcela de entrada de calor é devido à formação da carepa, uma reação exógena na superfície da placa. Para esse cálculo, é

necessária a perda percentual média de peso da placa pela formação da carepa. Juntamente com o balanço, foi implementada uma rotina de cálculo do crescimento da camada de carepa, e consequentemente, sua espessura final e perda de peso da placa. Essa rotina, além de calcular a perda de peso de cada placa, para fins de monitoramento do processo, fornece também a informação necessária para o balanço térmico. Existe, também, a possibilidade de se entrar com um valor manual de perda de peso, caso seja solicitado.

2.2 Saídas de Calor

As principais parcelas de saída de energia do forno são o calor sensível das placas aquecidas e o calor da fumaça. Para o cálculo do calor sensível das placas, são necessárias a temperatura média de desenformamento e a tonelagem horária. A temperatura de desenformamento é calculada pelo Sistema de Otimização, enquanto que a tonelagem horária é obtida pelo computador de processo, baseando-se nas dimensões das placas desenformadas.

Para o cálculo do calor sensível da fumaça, são necessárias sua vazão e composição química. A vazão é calculada por balanço de massa. A composição química, que era determinada a partir de amostragens na metodologia anterior, passou a ser calculada em função das vazões de combustível e do ar e de suas composições químicas. Comparações entre análises em laboratório de amostras coletadas e os resultados dos cálculos atestaram a validade desta nova metodologia.

O calor perdido para a água de refrigeração das estruturas internas do forno (vigas, colunas, lintéis) representa uma importante parcela. Se o valor for muito alto, pode ser um indicativo de desgaste exagerado do revestimento refratário destes componentes. Para o cálculo dessa parcela, são usadas a vazão da água de refrigeração e suas temperaturas de entrada e saída do forno.

Para o cálculo do calor perdido através das paredes, foram instalados doze termopares na face externa da carcaça do forno, sendo dois por zona (um de cada lado). A metodologia de cálculo do calor perdido baseia-se na transferência de calor por condução através de uma parede composta de várias camadas, cujas espessuras e condutividades térmicas são conhecidas.

A última parcela de perda de calor foi definida como 'outros', por representar o fechamento do balanço em termos de igualdade do calor total de entrada e de saída. Esta parcela contabiliza as perdas difíceis de serem mensuradas tais como pelas portas e pelos selos d'água.

2.3 Fechamento do Balanço e Cálculos Adicionais

Além das parcelas de entrada e saída de calor, alguns parâmetros adicionais são calculados, por exemplo, a relação entre a vazão de ar real e a estequiométrica, por zona, o rendimento térmico e a eficiência térmica do forno. O rendimento térmico e a eficiência térmica são os percentuais que o calor sensível das placas aquecidas representam em relação, respectivamente, ao calor total de entrada no forno e ao calor de combustão.

3 IMPLEMENTAÇÃO DO BALANÇO

O balanço térmico foi implementado em uma plataforma de *hardware* e *software* composta por um ambiente computacional misto envolvendo um computador de processo (PROCOM) Alpha DS20E com sistema operacional OpenVMS, linguagem de programação C/Fortran e um banco de dados Oracle 9i, e estações de operação baseadas em microcomputadores PC com sistema operacional Windows 2000 e linguagem de programação Delphi. O PROCOM se comunica com os PLCs, que informam a movimentação das placas dentro e fora do forno, e com o DCS (*Digital Control System*), onde é efetuado o controle dinâmico das temperaturas do forno e obtidas as informações de processo necessárias à execução *on line* da função balanço térmico.

Os dados de processo são coletados do DCS a cada 2 min e suas médias horárias são armazenadas, durante um período de 25 horas, nas estruturas G\$ZS_TGFC3, G\$ZS_TGFC4, G\$ZS_TGFC5, G\$ZS_TGGER e G\$RT_GASAR, representadas na Figura 2. As três primeiras se referem aos Fornos 3, 4 e 5, respectivamente, a seguinte, à estação misturadora, e a última, aos resultados dos cálculos das médias. Utilizando-se essas médias horárias e a tonelagem produzida no período em consideração, são realizados os cálculos do balanço térmico horário, de turno, diário e solicitado, para os três Fornos existentes na LTQ (um empurrador e dois de viga móvel), através do programa hg77\$balanco_termico. Para o balanço térmico solicitado, o período de sua realização pode cobrir qualquer intervalo dentro das últimas 24 horas. Os dados para o cálculo são enviados através de uma estrutura *RawData*, conforme representado na Figura 2. Os resultados dos balanços térmicos horário/turno, diário e solicitado são armazenados no banco de dados Oracle por um período de 6 meses, 35 dias e os 20 últimos, respectivamente. Esses balanços podem ser consultados por qualquer estação de trabalho conectada ao sistema.

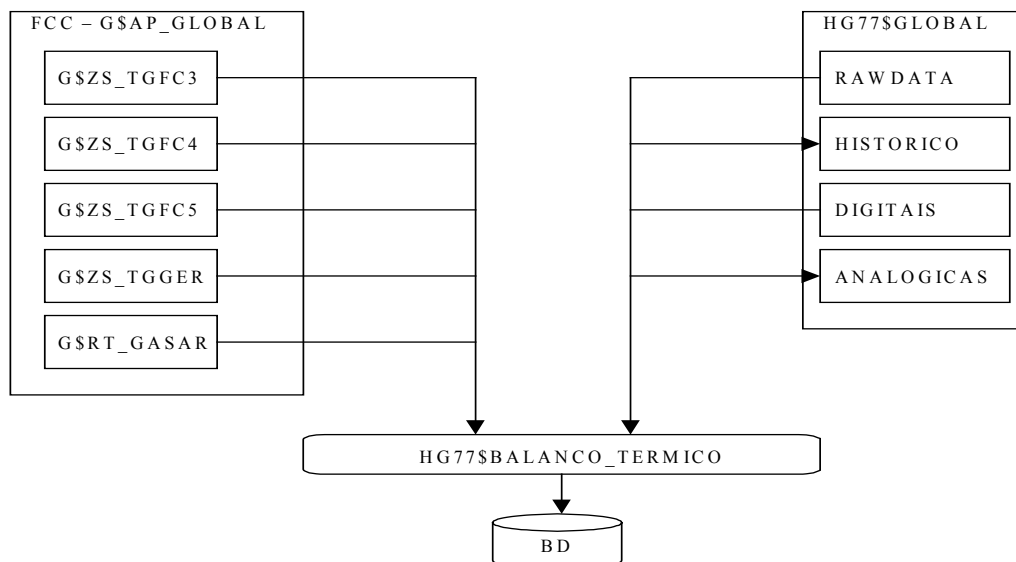


Figura 2. Modelo de dados e funcional do balanço térmico dos fornos LTQ.

Na Figura 3, apresenta-se, como exemplo, o quadro resumo de um balanço térmico de turno realizado no período de 19:00h do dia 15/05/2006 até às 07:00h do dia 16/05/2006. São mostradas as parcelas de entrada e saída de calor, em valores

absolutos, por hora e por tonelada, e em valor percentual em relação ao calor de combustão. Além dessas parcelas, ainda são mostrados nessa tela o consumo médio de combustível no período, a tonelagem horária obtida, a vazão média de fumaça e a eficiência energética do forno. O rendimento térmico e a eficiência térmica significam a quantidade de calor absorvida pela placa em relação, respectivamente, ao calor total aportado no forno e ao calor gerado na queima dos combustíveis.

Calor de entrada		Calor de saída					
Mcal / t	Mcal / h	%	Mcal / t	Mcal / h	%		
Calor de combustão do gás	139,52	25643,78	42,62	Calor absorvido pelas placas	193,46	35557,95	59,09
Calor de combustão do óleo	187,87	34530,51	57,38	Calor sensível da fumaça	171,64	31547,43	52,43
Calor sensível do óleo	0,63	115,79	0,19	Calor perdido através das paredes	14,67	2696,35	4,48
Calor sensível do ar	62,6	11505,88	19,12	Calor absorvido pela água de resfriamento	28,34	5208,89	8,66
Calor de formação da carepa	14,52	2668,78	4,44	Outros	34,78	6392,56	10,62
Calor sensível do vapor atomizante	5	919	1,53				
Calor sensível da placa	32,76	6021,29	10,01				
Total	442,9	81405,03	135,29	Total	442,89	81403,18	135,28

Forno	5	Rendimento térmico	0,36	Consumo de combustível (Mcal/t)	327,39
Data Inicial	15/05/2006 19:00:07	Eficiência térmica	0,49	Vazão de fumaça seca (Nm³/h)	78865,01
Data Final	16/05/2006 07:00:07			Tonelagem horária	183,8

Figura 3. Balanço térmico de turno do Forno 5 (viga móvel) da LTQ.

Além da tela mostrada na Figura 3, foi criado um conjunto de 7 telas adicionais que mostram, no período do balanço térmico, dados operacionais dos fornos, representação gráfica do balanço térmico e entradas de alguns dados manuais. Os dados manuais são usados principalmente para o Forno 3, do tipo empurrador, para o qual não existe o Sistema de Otimização.

Na Figura 4 é mostrada a tela de condições operacionais dos fornos, relativas ao balanço mostrado na Figura 3, com as vazões médias de combustível e de ar, as temperaturas das zonas e a relação vazão de ar real/vazão de ar teórico para a combustão (*ratio*).

Um dos cálculos importantes introduzidos no balanço *on line* foi a composição química da fumaça, a partir das vazões de combustível e de ar, junto de suas composições químicas. Este cálculo foi validado comparando-se composições químicas medidas em amostras de fumaça coletadas no canal de fumaça com os valores calculados, tendo havido boa concordância. A Figura 5 mostra a tela em que estão as composições químicas dos gases e da fumaça (calculada), para o balanço térmico da Figura 3.

Item / Zona	Preaquecimento		Aquecimento		Enchарque	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Temperatura (°C)	1259,45	1256,35	1279,43	1282,63	1293,73	1272,07
Vazão de gás misto (Nm³/h)	113,44	162,56	54,05	5228,4	1064,67	1950,11
Vazão de óleo (L/h)	1409,07	1220,15	1173,33	0	0	0
Vazão de ar (Nm³/h)	19887,36	17265,44	14540,42	16484,15	4490,12	7683,07
Ratíо calculado	1,471	1,45	1,306	1,039	1,39	1,039

Figura 4. Condições operacionais do Forno referente ao balanço térmico mostrado na Figura 3.

Gases combustíveis									
Gás	Composição química (% em volume, exceto H2S em g / L)								
	H2	CO	CO2	N2	O2	CH4	C2H4	C2H6	H2S
Gás misto	34,27	28,72	8,26	13,24	0,07	14,11	1,17	0,16	2,98
COG	58,95	6,92	2,38	4,69	0,11	24,65	2,05	0,28	5,2
BFG	3,2	24,63	23,07	49,07	0				0
LDG	1,05	60,67	15,57	22,67	0,03				0
Proporção dos gases (%)		COG 57,2		BFG 3,3		LDG 39,5			

Fumaça								
Local	Composição química (% em volume)					Temperatura (°C)		
	H2	CO	CO2	N2	O2	SO2	Entrada	Saída
Canal de fumaça	0	0	11	81,9	7	367,01	980,81	455,21

Figura 5. Composição química dos gases e da fumaça gerada. O teor de SO₂ é em ppm

Uma outra tela importante se refere à apresentação de dados complementares, que mostra os valores predefinidos de algumas variáveis e demais parâmetros de processo e de combustíveis que foram usados nos cálculos do balanço térmico, Figura 6.

Para validação dos demais cálculos do balanço térmico, foram levantados os dados de variáveis de processo, em determinado período, e aplicados no balanço térmico *off line* desenvolvido anteriormente. Verificou-se total concordância entre os valores calculados pelo balanço implementado com o *off line*.

Condições do óleo combustível																						
Composição química (% em massa)	C <input type="text" value="85,6"/> H <input type="text" value="10,2"/> S <input type="text" value="0,5"/> N <input type="text" value="0,4"/> O <input type="text" value="3"/> H2O <input type="text" value="0"/>																					
PCI do óleo (kcal / kg)	<input type="text" value="9861"/> Temperatura (°C) <input type="text" value="93,6"/>																					
Outros dados																						
Temperatura ambiente (°C)	<input type="text" value="30"/>																					
Temperatura do ar combustão (°C)	<input type="text" value="452,52"/>																					
Temperatura do vapor (°C)	<input type="text" value="165"/>																					
Temperatura de enformamento (°C)	<input type="text" value="289,15"/>																					
Temperatura de desenformamento (°C)	<input type="text" value="1211"/>																					
Temperatura da água de refrigeração na entrada (°C)	<input type="text" value="32,5"/>																					
Temperatura da água de refrigeração na saída (°C)	<input type="text" value="41"/>																					
Temperatura da parede do preaquecimento (°C)	<input type="text" value="63,1"/>																					
Temperatura da parede do aquecimento (°C)	<input type="text" value="98,5"/>																					
Temperatura da parede do encharque (°C)	<input type="text" value="69"/>																					
Vazão da água de refrigeração (L / h)	<input type="text" value="611072,19"/>																					
Vazão de vapor na linha (kg / h)	<input type="text" value="1394,65"/>																					
Pressão de vapor na linha (kgf / cm ²)	<input type="text" value="8"/>																					
Poder calorífico do combustível em cada zona																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gás</th> <th>Óleo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Preaquecimento superior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td><input type="text" value="9861"/></td> </tr> <tr> <td>Preaquecimento inferior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td><input type="text" value="9861"/></td> </tr> <tr> <td>Aquecimento superior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td><input type="text" value="9861"/></td> </tr> <tr> <td>Aquecimento inferior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Encharque superior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Encharque inferior</td> <td><input type="text" value="2990,99"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Gás	Óleo	Preaquecimento superior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>	Preaquecimento inferior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>	Aquecimento superior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>	Aquecimento inferior	<input type="text" value="2990,99"/>		Encharque superior	<input type="text" value="2990,99"/>		Encharque inferior	<input type="text" value="2990,99"/>	
	Gás	Óleo																				
Preaquecimento superior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>																				
Preaquecimento inferior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>																				
Aquecimento superior	<input type="text" value="2990,99"/>	<input type="text" value="9861"/>																				
Aquecimento inferior	<input type="text" value="2990,99"/>																					
Encharque superior	<input type="text" value="2990,99"/>																					
Encharque inferior	<input type="text" value="2990,99"/>																					
Umidade relativa do ar (%)	<input type="text" value="50"/>																					
Tonagem horária	<input type="text" value="183,8"/>																					

Figura 6. Dados gerais do Forno usados no balanço térmico.

Através de um acompanhamento estatístico e da experiência dos especialistas é possível fazer diversas inferências sobre o resultado encontrado. Por exemplo, comparando-se esse balanço térmico com outros realizados no mesmo Forno, é possível determinar se tem havido alguma anormalidade com relação à água de refrigeração, às perdas pelas paredes ou pelo canal da fumaça. Nesse caso, alguma medida de manutenção deve ser adotada visando-se manter o consumo de combustível e a eficiência do Forno dentro de valores preestabelecidos.

4 APLICAÇÃO DO BALANÇO TÉRMICO

O balanço térmico é uma ferramenta muito útil, de uso generalizado,⁽²⁻³⁾ para avaliação do desempenho de fornos de reaquecimento, apontando ações de melhoria operacional, momentos de parada para manutenção e, principalmente, medidas para otimização do consumo de combustível. Além disso, o balanço pode ser usado como ferramenta auxiliar de modelos matemáticos inseridos em sistemas de otimização e controle dinâmico dos fornos.⁽⁴⁻⁵⁾

Como exemplo de aplicação do balanço térmico implementado, foi realizada uma diagnose do Forno 5 utilizando-se esta ferramenta, antes e após sua parada para reforma em maio de 2005. A diagnose permitiu indicar os componentes do Forno onde houve uma redução das perdas térmicas, atestando o efeito da reforma. Além disso, algumas ações puderam ser delineadas visando melhorias futuras na eficiência dos fornos.

Além dessas aplicações pontuais, o pessoal de controle técnico e operacional da LTQ pretende incrementar o uso do balanço térmico como ferramenta de monitoramento constante do processo. Ao invés de controlar somente o consumo específico de combustível (Mcal/t), seja no dia, turno ou mês, passa-se, então, a monitorar onde este consumo está distribuído, e portanto, indicar ações corretivas. Isso pode ser feito tanto pelo pessoal operacional na sala de controle dos Fornos quanto pelos supervisores e gerente da área.

5 CONCLUSÕES

Foi mostrado, sucintamente, o desenvolvimento e a implantação *on line* de uma função para cálculo do balanço térmico dos Fornos de Reaquecimento da LTQ da Usiminas.

O balanço térmico *on line* dispensa a realização de levantamento de dados em campo e seu posterior processamento *off line*, o que é uma tarefa bastante onerosa. Este balanço amplia o leque de informações sobre a eficiência térmica dos fornos, uma vez que fornece não somente o consumo global de combustível, mas também as parcelas envolvidas, o que facilita a tomada de ações para melhoria da eficiência térmica.

Com isso, foi disponibilizada uma ferramenta muito útil para acompanhamento do desempenho dos fornos.

REFERÊNCIAS

- 1 ANDRADE, H. L. Balanço Térmico dos Fornos de Reaquecimento da Usiminas. In: 18º Seminário de Laminação da ABM, p.261-278, 1981, São Paulo, SP.
- 2 Iron & Steel Industry. Output of a Seminar on Energy Conservation in Iron and Steel Industry, 1992, /www.unido.org/doc/4524 (50 p. /759KB).
- 3 AMELING, D. Examples for on-line Control Developmetns in Ironmaking, Steelmaking and Rolling Processes in Germany, **Stahl und Eisen**, v. 122, n. 1, p. 23-48, Januar, 2002.
- 4 ZHANG, B.; CHENG, Z.; XU, L.; WANG, J.; ZHANG, J.; SHAO, H. The Modeling and Control of a Reheating Furnace. In: Proceedings of the American Control Conference, Anchorage, May, 8-10, p. 3823-3828, 2002.
- 5 KO, H.S.; KIM, J.; YOON, T.; LIM, M.; YANG, D. R.; JUN, I. S. Modeling and Predictive Control of a Reheating Furnace. In: Proceedings of the American Control Conference, Chicago, Illinois, p.2725-2729, 2000.