

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE BALANÇO TÉRMICO DE FORNOS DE REAQUECIMENTO DE PLACAS INTEGRADO COM SISTEMA DE CONTROLE*

Cristóvão Nery Giacomini¹
Jean Viana Bahia²
Antônio Adel dos Santos³
Arthur de Castro Souza⁴

Resumo

Foi desenvolvido um *software* para cálculo do balanço térmico dos fornos de reaquecimento de placas da Usiminas em Ipatinga. Ele realiza a busca automática de dados operacionais e das placas reaquecidas, valida, trata os dados e realiza os cálculos das parcelas de entrada e saída dos aportes térmicos para cada forno. Além disso, são calculados o rendimento, a eficiência térmica e o índice de ocupação dos fornos. O desenvolvimento foi realizado em ambientes visuais, com utilização de interfaces gráficas para fácil interação dos usuários com o *software*. A validação do *software* foi realizada pela comparação de resultados obtidos na busca automática com valores reais operacionais de balanços térmicos já realizados nos fornos.

Palavras-chave: Fornos de reaquecimento; Balanço térmico; Software de balanço térmico; Eficiência térmica.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR THERMAL BALANCE OF SLAB REHEATING FURNACES INTEGRATED WITH CONTROL SYSTEM

Abstract

It was developed a software for thermal balance calculations of Usiminas slab reheating furnaces in Ipatinga. It performs automatic data search of operating conditions and reheated slabs, validates and treats the data, and performs the calculation of inlet and outlet thermal parcels for each furnace. Furthermore, are calculated the yield, thermal efficiency, and occupancy rate of furnaces. The development was carried out in visual environments, with the use of graphical interfaces to ease interaction of users with the app. The software validation was performed by comparison of the results obtained in automatic search with operational values obtained in previous thermal balances performed in the furnaces.

Keywords: Reheating furnaces; Thermal balance; Thermal balance software; Thermal efficiency.

¹ Analista de Sistemas, MBA, Analista de Processos Pleno, Gerência Técnica de Laminções, Usiminas, Ipatinga, MG.

² Engenheiro Químico, Pesquisador Pleno, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.

³ Engenheiro Metalurgista, D.Sc., CQE/ASQ, Pesquisador Especialista Sênior, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Produção Pleno, Gerência Técnica de Laminções, Ipatinga, MG.

1 INTRODUÇÃO

O balanço térmico de fornos de reaquecimento é uma metodologia importante para avaliação de desempenho operacional, através, principalmente, da disponibilização de valores de eficiência térmica e de rendimento teórico dos fornos. O balanço é utilizado para diagnose da eficiência térmica de fornos, permitindo avaliar as parcelas de entrada e saída de calor, fornecendo subsídios para a redução do consumo de combustíveis. Por não ser uma ferramenta de controle nem de simulação, o balanço é aplicado a um período operacional passado, preferencialmente quando o forno opera em regime estacionário, quando a massa das placas enforadas é próxima à das placas desenforadas.

Na Usiminas, realizam-se balanços térmicos nos fornos de reaquecimento de placas desde a década de 80 [1]. Isso contribuiu significativamente para o aprimoramento da aplicação desta metodologia na empresa.

Tradicionalmente, a realização do balanço térmico requer a mobilização de uma equipe grande para levantamento de dados operacionais dos fornos e das placas processadas, a amostragem dos combustíveis e fumaça. O elevado volume de dados e a necessidade de cautelosa avaliação de sua integridade, seguida de seu tratamento, tornava demorada e custosa a execução do balanço. Foi justamente para simplificar tais tarefas que foi introduzido o balanço no sistema automático [2] dos fornos da linha de Laminação de Tiras a Quente (LTQ). No entanto, este balanço não supria todas as necessidades dos fornos de Ipatinga, primeiro por não contemplar os fornos da linha de Laminação de Chapas Grossas (LCG), e segundo, por necessitar de melhor tratamento e validação dos dados aquiridos.

Diante desse cenário, foi desenvolvido o *software* de cálculo do balanço térmico dos fornos. As principais premissas do projeto foram: (i) atender tanto a LCG como a LTQ; (ii) fazer a busca automática dos dados necessários de operação dos fornos e das placas processadas; (iii) o tratamento desses dados e; (iv) o cálculo automático do balanço. Outra premissa era que a apresentação dos resultados fosse desenvolvida em interfaces de fácil interpretação, para viabilizar seu uso pelas equipes técnica e operacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Forno de reaquecimento

Na laminação a quente de produtos planos, os fornos de reaquecimento têm como finalidade principal elevar a temperatura das placas para conferir a plasticidade necessária para conformação e dissolver os precipitados de elementos microligantes existentes, para permitir sua laminação até a dimensão desejada.

Os fornos contínuos de reaquecimento de placas podem ser classificados em função do método de deslocamento das placas e do seu formato da seguinte maneira:

- fornos de soleira fixa (*pusher furnace*);
- fornos de vigas caminhantes (*walking beam furnace*);
- fornos com soleira móvel (*walking hearth furnace*);
- fornos com mesas de rolos ou fornos túnel.

Na Usina de Ipatinga, há um forno *pusher*, o forno 3 da LTQ, que possui 3 zonas (duas de aquecimento e uma de encharque), e 4 fornos *walking beam* (apresentados

esquemáticamente na Figura 1), os fornos 1 e 2 da LCG e os fornos 4 e 5 da LTQ, que possuem 6 zonas (duas de pré-aquecimento, duas de aquecimento e duas de encharque). As principais características destes fornos são apresentadas na Tabela 1.

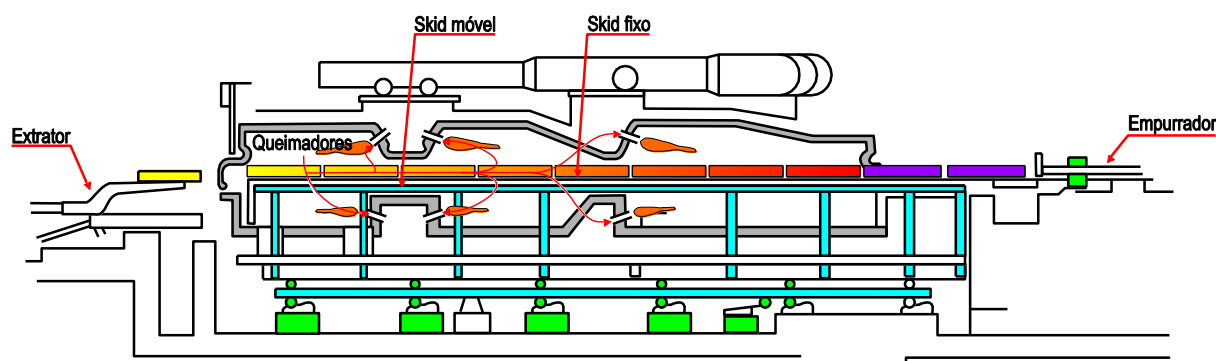


Figura 1. Corte longitudinal de um forno tipo *walking beam* [3].

Tabela 1. Fornos de rea aquecimento de placas da Usina de Ipatinga e suas características.

Nº FORNO	LINHA	TIPO	Nº DE ZONAS	AUTOMAÇÃO	COMBUSTÍVEIS*	PRODUÇÃO (T/H)
1	Chapas Grossas	<i>Walking Beam</i>	6	Total	COG, Óleo	130
2		<i>Walking Beam</i>	6	Total		
3		<i>Pusher</i>	3	Parcial	COG, BFG, LDG, Óleo, GN	100
4	Tiras a Quente	<i>Walking Beam</i>	6	Total		
5		<i>Walking Beam</i>	6	Total		

*COG: Gás de coqueria; BFG: Gás de altos-fornos; LDG: Gás de aciarias; GN: Gás natural.

2.2 Balanço térmico

O balanço térmico consiste da comparação das parcelas de energia que entram e saem de um processo num determinado período, preferencialmente em regime estável de operação. Um balanço térmico é importante para avaliar a eficiência energética de um processo e determinar os principais pontos de perda de energia.

Em um forno de rea aquecimento de placas existem diversas parcelas de entradas e saídas de energia, porém, espera-se que a maior parte da energia inserida no processo pela combustão dos combustíveis saia nas placas rea aquecidas.

As parcelas de energia em um balanço térmico são subdivididas em dois grupos: entradas e saídas. Evidentemente, a soma de todas as parcelas de energia de entrada deve ser igual à soma de todas as parcelas de saída, no regime estacionário. Porém, apesar de todo o rigor que se pode aplicar a um balanço térmico, sempre existem parcelas de energia não consideradas e erros de aproximação. Neste caso usa-se uma parcela de saída chamada "Outros" que é a diferença entre o somatório dos calores de entrada e dos de saída.

2.3 Desenvolvimento do software do balanço

Foi desenvolvida uma solução que contém projetos para realização da busca automática e tratamento dos dados, projetos de interfaces gráficas, que são utilizadas pelo usuário para interação com o *software* do balanço térmico e, por fim, o projeto para cálculos do balanço térmico.

Uma visão geral das funções do *software* do balanço térmico desenvolvido é mostrada na Figura 2.

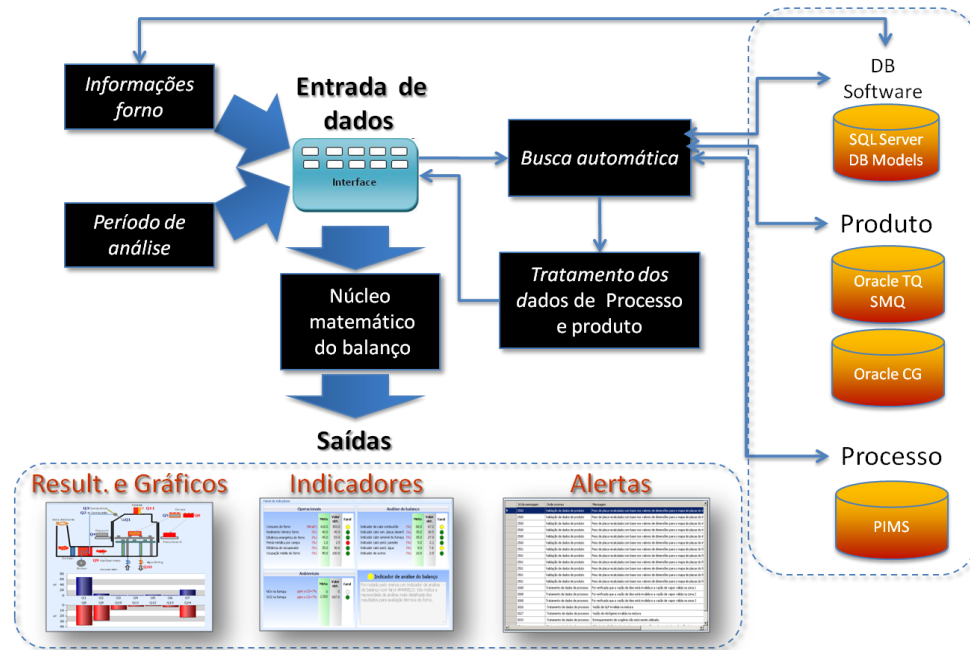


Figura 2. Visão geral das funções do software do balanço térmico desenvolvido.

Foram desenvolvidos 3 modos de cálculo do balanço: (i) manual, onde todas as entradas devem ser realizadas manualmente; (ii) semiautomático, onde alguns dados serão entrados manualmente; e (iii) automático, onde a busca de dados é totalmente automática.

2.4 Busca automática e tratamento de dados

O processo de busca automática de dados consiste em levantar um conjunto de dados operacionais dos fornos de reaquecimento e das placas aquecidas, nos bancos de dados mantidos pela automação, no período considerado.

Este processo é disparado pelo usuário a partir da interface de entrada de dados, para um forno previamente selecionado. Isso é realizado utilizando a interligação entre a rede corporativa da TI e a rede dedicada da automação, conforme mostrado, de forma esquemática, na Figura 3.

Neste *software*, distinguiram-se variáveis de processo, que são dados operacionais dos fornos, e variáveis de produtos, que são relacionadas a dimensões, composições químicas e temperaturas das placas processadas no período do balanço térmico. Esta distinção é necessária, pois estas informações estão em bancos de dados diferentes.

O processo de busca consiste da aquisição de dados nas bases disponíveis no formato digital, armazenadas em bancos de dados como o PIMS [4] e o Oracle. Esta

busca é iniciada a partir de variáveis cadastradas em um banco de dados desenvolvido [5] para suportar este *software*.

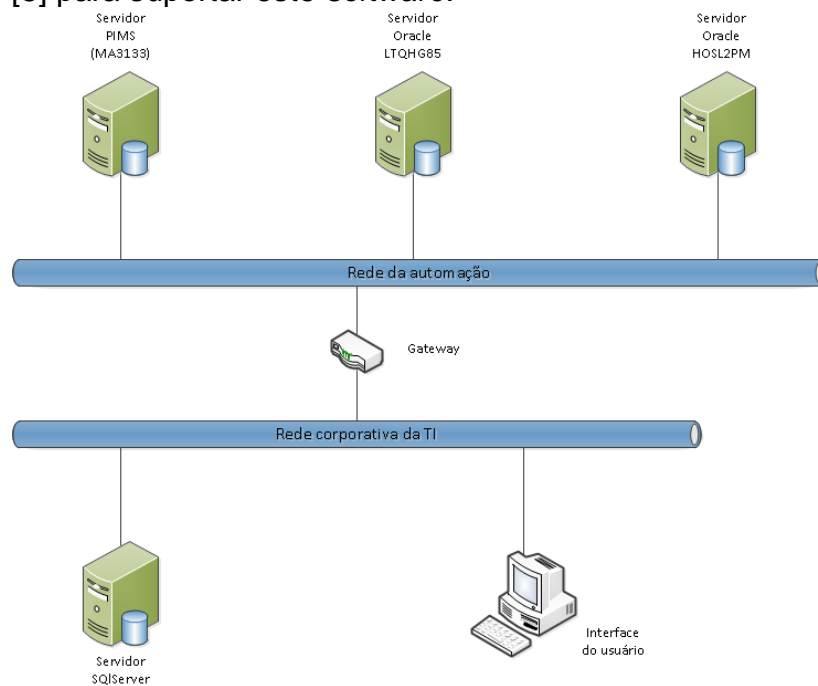


Figura 3. Representação esquemática dos recursos de rede utilizados na busca automática.

Os dados obtidos das bases são armazenados em variáveis digitais (VD). Para serem utilizados nos cálculos do balanço, estes dados são tratados e armazenados em variáveis padrão (VP). A VP é toda variável de entrada necessária para o cálculo do balanço térmico. Ela pode ser digital, quando recebe os dados validados e tratados automaticamente, ou analógica, quando sua entrada é manual. Cada VP é associada a uma ou mais VD, por critério de afinidade [6], conforme esquema da Figura 4.

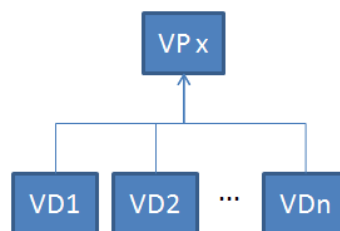


Figura 4. Representação da configuração de uma VP.

2.5 Interfaces gráficas do *software* do balanço térmico

As interfaces para o *software* do balanço térmico foram desenvolvidas privilegiando a usabilidade, a flexibilidade de acesso e o *design* leve. A plataforma utilizada para o desenvolvimento foi a do *Microsoft Visual Studio 2008*. Foram desenvolvidas, ao todo, 33 interfaces gráficas para implementar as necessidades deste *software*. Nas Figuras de 5 a 14 são apresentadas a interface principal, a de cadastro do forno, a de entrada de dados, a de configuração de VP e as interfaces de saída de resultados.

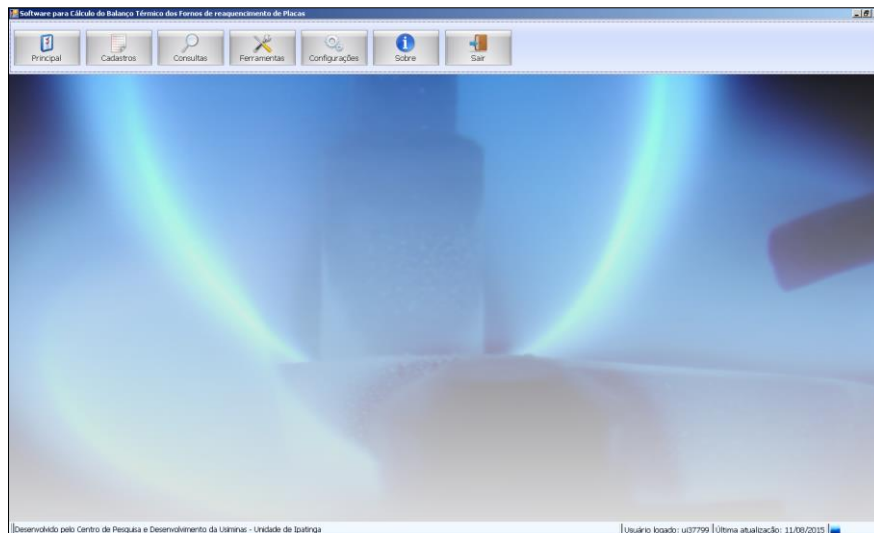


Figura 5. Interface principal no software do balanço.

Cadastro do forno

Dados do forno

Código Nº Forno Usina Linha Qnt. Zonas Variáveis automatizadas

1 3 Ipatinga Tiras a Quente 3 Produto Processo

String de conexão do produto

String de conexão do processo

Provider=PIOLEDB.1;Password=bterm;User ID=pibterm;Da...

Periféricos do forno

Forno utiliza misturadora de gás

Forno utiliza ar de diluição da fumaça

Código	Nº Forno	Linha	Usina	Empresa	Termografia	Nº Zonas
1	3	Tiras a Quente	Ipatinga	Usiminas	18/05/2011	3
2	4	Tiras a Quente	Ipatinga	Usiminas	17/10/2014	6
3	5	Tiras a Quente	Ipatinga	Usiminas	17/10/2014	6
4	1	Chapas Grossas	Ipatinga	Usiminas	19/07/2009	6
5	2	Chapas Grossas	Ipatinga	Usiminas	19/07/2009	6
6	0	Tiras a Quente	Ipatinga	Usiminas		6
7	0	Chapas Grossas	Ipatinga	Usiminas		6

Zonas

Código Forno Nº zona Comp. zona

1 1 1 20.6 Gás Óleo O₂

Código	Nº Zona	Comp_Zona	Gás	Óleo	Ent_02
1	1	20.6	1	1	0
2	2	0	1	1	0
3	3	8.4	1	1	0

Comprimento total do forno: 29

Comentários

Top

Máx: 200 Caracteres

Inserir Alterar Salvar Cancelar Excluir Echar

Figura 6. Interface de cadastro do forno, com foco no menu Fornos.

Formulário de entrada de dados para simulação

Dados operacionais

Dados de placa

Zonas

Dados de combustível

Distribuição temp. águas

Busca dados no PIMS

Busca automática

Executar simulação

Dados iniciais

Empresa Usina Linha Forno

Usiminas Ipatinga Tiras a Quente 5

Intervalo do balanço

Data de início Data de término Hora início Hora final

11/08/2015 11/08/2015 08:00 10:00

Dados de combustível

Composição da mistura gasosa	Vazão média	Fração	Dados do óleo / vapor
Gás 1 COG		0.0	Óleo Óleo derivado de petróleo
Gás 2 GN		17.2	Temperatura do óleo 77.0 °C
Gás 3 LDG		18.4	Temperatura do vapor 197.0 °C
Gás 4 BFG		64.4	Vazão total de óleo 0 L/h
Gás 5			Vazão total de vapor do óleo 225.0 kg/h
Gás 6			PCI do óleo 9296 kcal/kg
Total		100 %	
Vazão total de gás	14,822.0	m³/min	
PCI do gás misto	3,415.0	kcal/Nm3	
Temperatura da mistura gasosa	47.0	°C	

Interface de entrada de dados para simulação

Forno totalmente automático

Figura 7. Interface de dados de entrada, menu, "Dados combustíveis" no modo automático.

Formulário de entrada de dados para simulação

Dados operacionais

Dados iniciais

Empresa	Usina	Linha	Forno	Data de início	Data de término	Hora início	Hora final

Dados operacionais

Produção no período do balanço		t	Espessura média da carepa		mm
Produtividade no período do balanço		t/h	Temp. média fumaça no início do canal		°C
Temp. média entrada água refr.		°C	Temp. média fumaça antes do recuperador		°C
Temp. média saída água refr.		°C	Temp. média fumaça após o recuperador		°C
Vazão total de água de refrigeração		m ³ /h	Vazão total do ar de diluição		Nm ³ /h
Temp. de enformamento média		°C	Composição química da fumaça	<input type="radio"/> Medida <input type="radio"/> Calculada	
Temp. de desenformamento média		°C	Dimensões médias das placas (mm)		
Temperatura do ar de combustão		°C	Enformadas		
Vazão total do ar de combustão		Nm ³ /h	Espessura	Largura	Comprimento
Enriquecimento O ₂		%			
Temp. ambiente		°C	Desenformadas		
Umidade do ar de combustão		%	Espessura	Largura	Comprimento

Busca automática

Executar simulação

Interface de entrada de dados para simulação

Figura 8. Interface de entrada de dados para cálculo do balanço.

Configuração de variáveis padrão

Dados do forno

Código	Nº_Forno	Usina	Linha	Acesso_PIMS
1	3	Ipatinga	Tiras a Quente	Provider=PIOLEDB.1;Password=bte
2	4	Ipatinga	Tiras a Quente	Provider=PIOLEDB.1;Password=bte
3	5	Ipatinga	Tiras a Quente	Provider=PIOLEDB.1;Password=bte
4	1	Ipatinga	Chapas Grossas	Provider=PIOLEDB.1;Password=bte
5	2	Ipatinga	Chapas Grossas	Provider=PIOLEDB.1;Password=bte

Configuração de variáveis

Código	Padrao/Forno	Status	Tratamento

Lista de variáveis digitais disponíveis

- Vazão Ar de Combustão Pré-aquecimento (TOP)
- Vazão Ar de Combustão Inferior (Bottom)
- Vazão Ar de Combustão Encharque (SOAK)
- Vazão Ar de Combustão Cortina
- Vazão de BFG da misturadora
- Vazão de COG da misturadora
- Vazão de LDG da misturadora
- Vazão Gás Misto Misturadora
- Vazão Gás Misto Pré-aquecimento (TOP)
- Vazão Gás Misto Inferior (Bottom)
- Vazão Gás Misto Encharque

Configurar Alterar Salvar Cancelar Excluir Efechar

Figura 9. Interface de configuração da VP.



Figura 10. Interface de saída de resultados, menu Dados de entrada, guia de dados operacionais.

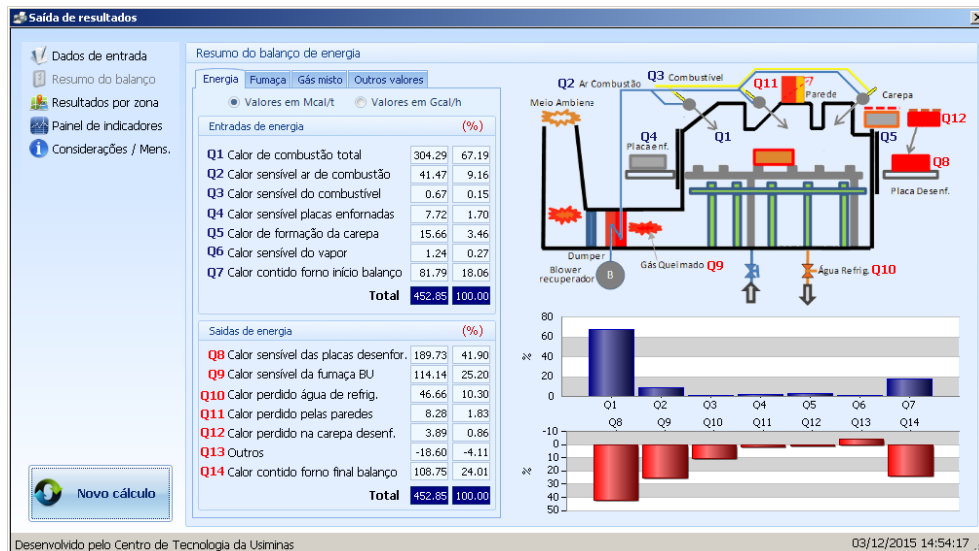


Figura 11. Interface de saída de resultados, *menu* Resumo do balanço, guia energia.

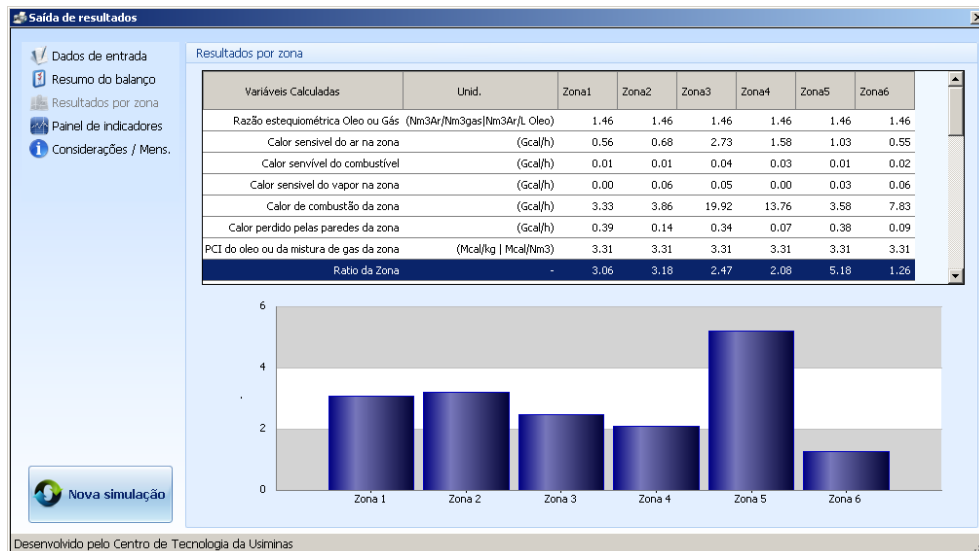


Figura 12. Interface de saída de resultados, *menu* Resultados por zona.



Figura 13. Interface do painel de indicadores na saída resultados.

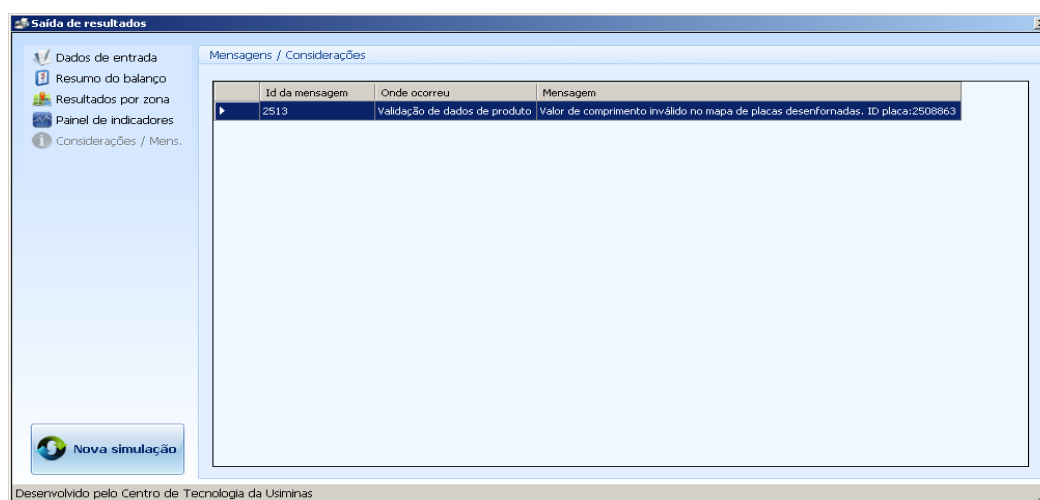


Figura 14. Interface de mensagens e considerações na saída resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cálculo do Balanço Térmico

Neste *software* foi convencionado que as parcelas de calor de entrada são identificadas de Q1 a Q7 e as de saída de Q8 a Q14, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Parcelas de energia consideradas no balanço desenvolvido.

ENTRADAS		SAÍDAS	
Q1	Calor de combustão	Q8	Calor sensível das placas desenformadas
Q2	Calor sensível do ar de combustão	Q9	Calor sensível da fumaça
Q3	Calor sensível dos combustíveis	Q10	Calor perdido por água de refrigeração
Q4	Calor sensível das placas enformadas	Q11	Calor perdido por paredes
Q5	Calor de formação de carepa	Q12	Calor perdido na carepa desenformada
Q6	Calor sensível do vapor de atomização	Q13	Outros
Q7	Energia contida no forno no início do balanço	Q14	Energia contida no forno no final o balanço

Vale ressaltar que Q7 e Q14 não são parcelas de entrada e saída propriamente, mas sim a energia interna total das placas que estão no forno no início e no fim do balanço. Se o regime é muito próximo do estacionário, fato desejável no balanço térmico, os valores destas parcelas serão bem próximos. Eles são introduzidos pois, na realidade, o regime de operação dos fornos não é estacionário, sendo necessário o cálculo destas parcelas para um melhor fechamento do balanço.

Outra particularidade neste *software* é o cálculo da temperatura adiabática de chama. Trata-se de um valor teórico obtido considerado que toda energia gerada na combustão é usada para aquecer os gases de combustão em um queimador antes de haver troca de calor da chama com o ambiente externo. Portanto, essa temperatura é chamada de adiabática, pois é como se a combustão ocorresse sem perda de calor para o ambiente externo a ela (adiabaticamente). Pela disponibilidade de todas as variáveis necessárias, este cálculo foi implementado neste *software* por cada zona, visto que uma zona é composta de diversos queimadores operando nas mesmas condições.

3.2 Validação do software do balanço térmico

O processo de validação do *software* tomou como referência o último balanço térmico realizado no Forno 4 da Laminação de Tiras a Quente de maneira convencional em 29/05/2012, da Usina de Ipatinga, pela equipe do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Nele foram levantados todos os dados necessários para avaliação térmica do forno. No mesmo período, foi realizada a busca de dados, utilizando o *software* desenvolvido, executado os tratamentos e, em seguida, os cálculos do balanço. Os valores obtidos tanto na busca de dados automática quanto pelo levantamento do último balanço estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Dados de entrada consolidados obtidos na busca automática do *software* desenvolvido e os obtidos no levantamento de campo.

VARIÁVEL	UNIDADE	LEVANTAMENTO (A)	SOFTWARE BALANÇO (B)	DIFERENÇA (A-B)
Produção do período	t	403,0	403,3	-0,3
Tempo de balanço	min	120,0	124,0	-4,0
Produtividade	t/h	201,5	195,1	6,4
Temperatura média de enformamento	°C	25,0	38,7	-13,7
Temperatura média de desenformamento	°C	1212,0	1211,8	0,2
Espessura média da carepa	mm	2,84	2,47	0,4
Espessura média das placas enformadas	mm	244,6	244,8	-0,2
Largura média das placas enformadas	mm	1272,1	1242,8	29,4
Comprimento médio das placas enformadas	mm	5998,0	6006,4	-8,4
Espessura média das placas desenformadas	mm	246,6	246,6	0,0
Largura média das placas desenformadas	mm	1239,4	1261,1	-21,7
Comprimento médio das placas desenformadas	mm	5933,4	5993,4	-60,0
Temp. media da água de refrigeração na entrada	°C	25,0	32,0	0,0
Temp. media da água de refrigeração na saída	°C	45,0	45,0	0,0
Vazão de água de entrada	m ³ /h	601,0	600,0	1,0
Temperatura média do ar de combustão	°C	344,0	344,0	0,0
Vazão total do ar de combustão	Nm ³ /h	73289,0	72943,0	346,0
Temperatura ambiente	°C	25,0	32,0	0,0
Umidade do ar	%	74,0	74,0	-0,3
Temp. media fumaça entrada recuperador	°C	886,0	884,0	2,0
Temperatura media fumaça saída recuperador	°C	456,0	455,0	1,0
Temperatura média do gás misto	°C	25,0	25,0	0,0
Vazão total do gás misto	Nm ³ /h	20478,0	18551,0	1927,0
PCI do gás misto	kcal/Nm ³	3128,0	3129,0	-1,0
Temperatura média do óleo	°C	114,0	87,0	27,0
Vazão total do óleo	L/h	1089,4	1101,0	-11,6
PCI do óleo	kcal/kg	10000,0	9296,0	704,0
Temperatura média do vapor	°C	197,0	197,0	0,0
Vazão total do vapor	kg/h	377,0	917,0	-540,0
Fração do COG no GM	%	59,7	59,7	0,0
Fração do BFG no GM	%	11,3	10,9	0,4
Fração do LDG no GM	%	29,0	29,4	-0,4

As diferenças observadas entre os valores levantados convencionalmente e os obtidos na busca automática no *software* do balanço foram, em geral, muito pequenas, embora algumas variáveis tenham apresentado diferenças significativas. As mais relevantes são justificadas a seguir.

- Espessura da carepa: o levantamento considerou um valor histórico de 1% da espessura da placa desenformada enquanto que o *software* computa o valor obtido no cálculo do modelo *on-line*.
- Largura das placas no enformamento e no desenformamento: o levantamento considerou a largura prevista; o *software*, a largura medida no ato do enformamento.
- Vazão total de gás misto: as informações foram obtidas de origens diferentes. No levantamento foi utilizada a vazão média do gás misto armazenada na base do PIMS (*Plant Information Management System*); no *software* do balanço utilizou-se o somatório das médias das vazões das zonas do forno, obtidas no período do balanço. Vale ressaltar que a referência utilizada para cálculo do consumo do forno é o somatório das vazões das zonas.
- Temperatura do óleo: obtida em pontos diferentes de medição.
- Vazão de vapor: o levantamento só contabilizou os valores de vazão da zona que estava utilizando óleo e o *software* o vapor utilizado em todas as zonas no período, pois mesmo sem queimar óleo, alguma quantidade de vapor é utilizada.

Deve ser ressaltado que os fornos de reaquecimento da LTQ não utilizam óleo combustível atualmente, o qual foi substituído por gás natural.

Para a validação dos cálculos do *software*, foram alterados alguns valores de entrada para ficarem uniformizados com os utilizados do levantamento. Os valores alterados no *software* foram: a temperatura ambiente; a umidade do ar; espessura da carepa; PCI (Poder Calorífico Inferior) do óleo e a temperatura da mistura gasosa. Também foram alterados, nos cálculos do levantamento, alguns parâmetros como: a vazão total de gás foi ajustada para corresponder ao somatório das zonas na busca automática e a densidade do óleo a 20°C foi alterada para 1,024 kg/L.

Os resultados calculados das parcelas de calor de entrada e saída, Tabela 4, foram considerados válidos por apresentarem diferenças relativas baixas.

Tabela 4. Resultados dos cálculos das parcelas calor de entrada e saída, apurados nos dois balanços.

	Variável	unidade	Estudo (A)	Software Balanço (B)	Diferença (A-B)	Diferença % relativa ao total de entrada (%)
Calor de entrada	Calor de combustão total	Mcal/t	343,0	353,0	-10,0	-2,5
	Calor sensível no ar de combustão	Mcal/t	38,9	38,5	0,4	0,1
	Calor sensível no combustível	Mcal/t	0,1	0,3	-0,2	0,0
	Calor sensível nas placas enformadas	Mcal/t	2,9	1,8	1,2	0,3
	Calor de formação da carepa	Mcal/t	19,9	17,8	2,1	0,5
	Calor sensível no vapor	Mcal/t	1,3	3,0	-1,7	-0,4
	Total		406,1	414,4		
Calor de saída	Calor sensível nas placas desenformadas	Mcal/t	195,5	191,9	3,6	1,0
	Calor sensível na fumaça na saída do forno (base úmida)	Mcal/t	120,9	146,7	-25,8	-6,9
	Calor sensível na água de refrigeração	Mcal/t	38,5	40,0	-1,4	-0,4
	Calor perdido pelas paredes	Mcal/t	13,3	11,2	2,1	0,6
	Calor perdido pela carepa	Mcal/t	5,0	4,4	0,7	0,2
	Total		373,2	394,1		

4 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um *software* de cálculo automático do balanço térmico dos fornos de reaquecimento de placas da Usina de Ipatinga. Praticamente todos os dados necessários aos cálculos são buscados automaticamente em bancos de dados de processo, no PIMS, e de produto, no Oracle. Após a busca, os dados são validados e tratados convenientemente para serem usados como valores de entrada do cálculo do balanço térmico.

O *software* foi desenvolvido em ambiente de programação visual, em linguagem orientada a objetos, estando em linha com os avanços recentes em desenvolvimento de *software*.

Com isso, a execução do balanço térmico, que antes demandava vários dias de forma manual, pode ser feita com o *software* em minutos, com menor possibilidade de erros, em função da pouca interferência humana na coleta e tratamento dos dados, e realização dos cálculos. Ressalta-se ainda a superior qualidade de apresentação dos resultados.

Devido ao seu projeto de desenvolvimento, qualquer outro forno, além dos três da LTQ e dos dois da LCG já cadastrados, pode ser incluído no *software* do balanço térmico, uma vez que toda estrutura já está pronta.

Dessa forma, o *software* tem o potencial de contribuir significativamente para a redução do consumo de combustíveis nos fornos de reaquecimento.

REFERÊNCIAS

- 1 ANDRADE, HL, ROLDAN, A, HAUCK, GAC. Balanço térmico dos fornos de reaquecimento da Usiminas, Metalurgia ABM, 1983, 39(312): 27-31.
- 2 SANTOS, AA, TEIXEIRA, MH, MAIA, GA. Implementação de balanços térmicos *on line* nos fornos de reaquecimento da linha de tiras a quente da Usiminas, In: 43º Seminário de Laminação, ABM, Curitiba, outubro/2006.
- 3 SANTOS, A.A., OLIVEIRA, C.A.S., HAUCK, G.A.C., RIBEIRO, J.C., ROSA, J.H.A., LAIA, L.L., TEIXEIRA, M.H. Tecnologia de Fornos de Reaquecimento, Apostila de Curso de Fornos de Reaquecimento, Usiminas, 2002.
- 4 PI System Data Flow – OSI Software Inc. “PIMS - *Process Information Management System* – Uma introdução”, Capítulo 6.
- 5 HEUSER, C A, Projeto de Banco de Dados. Editora Sagra Luzzato, 5a edição, 2004.
- 6 Material de Aula da Disciplina: Fundamentos de Armazenamento e Manipulação de Dados. - IME - Professor: Andre Rodrigo Sanches, acessado em 03/2015: <http://www.ime.usp.br/~andrers/aulas/bd2005-1/aula5.html>