

APLICAÇÃO DE UM MODELO TERMOQUÍMICO EM MINI ALTO-FORNO A CARVÃO VEGETAL¹

Túllio Tavares da Silva²
Eliardo Oliveira de Souza³
João Armando Adriano⁴

Resumo

O avanço do nível de instrumentação e automação dos mini altos-fornos a carvão vegetal, motivou o desenvolvimento de um modelo termoquímico para aplicação no processo de operação desses mini altos-fornos. O modelo termoquímico proposto é baseado no balanço de massa e térmico, e disponibiliza aos operadores uma gama de informações que possibilitara aumentar o desempenho do processo, de acordo com as condições de infraestrutura e de qualidade das matérias-primas utilizadas em cada usina. Em média a aplicação do modelo trará uma economia entre 10 Kg e 20 kg de carbono por tonelada de gusa, juntamente com um acréscimo de produção de 2% a 4%. Neste trabalho é apresentado a simulação de dados reais operacionais através da utilização do modelo termoquímico para realizar o cálculo da carga energética do mini alto-forno nº2 da Gusa Nordeste S/A, situado na cidade de Açailândia no estado do Maranhão.

Palavras-chave: Modelo termoquímico; Mini alto-forno; Carvão vegetal.

APPLICATION OF A THERMOCHEMICAL MODEL IN A MINI BLAST FURNACE WITH CHARCOAL

Abstract

The progress of instrumentation level and automation of the charcoal mini blast furnaces has led to the development of a thermochemical model to be applied to the operation of these furnaces. The proposed thermochemical model is based on the mass and heat balance. It offers to the operators a display of information which will lead to an increase in process performance, in line with the conditions of infrastructure of the plant and with the quality of available raw materials. *On average the application of the model will bring about an economy of 10 Kg to 20 kg of charcoal per ton of hot metal, along with an increase of 2% to 4% of production.* This paper presents a simulation of actual operational data, by utilizing the thermochemical model for calculation of the energy load of mini blast furnace #2 of Gusa Nordeste S.A, in the city of Açailândia, state of Maranhão.

Key words: Thermochemical model; Mini blast furnace; Charcoal.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Sócio/Diretor da Meta Projetos Ltda, Consultor da Minitec Minitecnologias Ltda., Membro da ABM, Brasil; tulliotavares@hotmail.com.

³ Superintendente Industrial, Gusa Nordeste S/A., Membro da ABM, Brasil; eliardo@ferroeste.com.

⁴ Gerente Industrial, Gusa Nordeste S/A, Brasil; joao.armando@ferroeste.com.

1 INTRODUÇÃO

Com base em balanços de massa e térmico para altos-fornos, foi desenvolvido um algoritmo doravante denominado *modelo termoquímico*, capaz de calcular com antecipação de algumas horas o peso correto da carga de carbono necessária para manter estável o nível térmico do alto-forno.

Com a incorporação do *modelo* na rotina operacional dos altos-fornos é possível prever um desvio de idealidade de marcha, algumas horas antes que se constata uma variação da temperatura do ferro gusa no canal de corrida.

Após a coleta de dados operacionais do alto-forno nº2 da Gusa Nordeste, foi realizada uma simulação da operação desse alto-forno com o cálculo da carga de carbono sendo realizado pelo *modelo termoquímico*.

A grande concordância entre a carga de carbono calculada pelo *modelo* e as variações do nível térmico do forno durante o período de simulação, motivou a Gusa Nordeste a incorporar o *modelo termoquímico* na operação de seus altos-fornos.

Em sequencia serão apresentados os resultados obtidos através da simulação da operação do alto-forno nº2 da Gusa Nordeste com o *modelo*.

2 DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ALTO-FORNO 2

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as principais características do alto-forno 2 (Tabela 1) e os dados operacionais (Tabela 2).

A carga metálica do alto-forno em questão é exclusivamente composta de minério de ferro granulado, a fonte de carbono é o carvão vegetal granulado enfiado pelo topo, e o carvão vegetal pulverizado injetado nas ventaneiras do forno.

Tabela 1. Características do Alto-forno 2

Volume Interno	163 m ³
Topo	Duplo Cone
Diâmetro da Goela	2.860 mm
Diâmetro do Cadinho	3.500 mm
Nº Ventaneiras	12
Vazamento	Intermitente
Diâmetro Ventaneira	95 mm
Sistema de Refrigeração	Spray na chaparia
Sistema de Aquecimento de Ar	Glendons (2 operando + 1 stand by)

Tabela 2. Dados operacionais

Parâmetros	Unidade	Valor
Gusa		
Si	%	0,20
Mn	%	0,50
P	%	0,08
S	%	0,02
C	%	4,15
Temperatura	°C	1.380
Escória		
CaO	%	32,82
MgO	%	3,45
SiO ₂	%	40,40
Al ₂ O ₃	%	17,33
CaO / SiO ₂		0,81
Volume de escória	kg/t	150 – 200
Sopro		
Vazão de ar	Nm ³ /h	22.300
Temperatura do ar	°C	800
Consumo de ar	Nm ³ /t	1.446
Pressão de ar	mCA	6,5
Topo		
CO	%	23,0
CO ₂	%	19,5
H ₂	%	5,8
CO/CO ₂		1,18
Temperatura do gás	°C	110
Produção		
Produção	t/d	370
Produtividade	t/m ³ /d	2,27
Carga minério de ferro granulado		
SiO ₂	%	6,07
Al ₂ O ₃	%	2,03
Fe	%	60,14
Mn	%	0,80
P	%	0,08
Carga carvão vegetal (base seca)		
Carbono fixo	%	78,0
Material volátil	%	21,0
Cinzas	%	1,0
Injeção de finos de carvão		
Taxa de injeção	Kg/t	60,0

3 MODELO TERMOQUÍMICO

O *modelo termoquímico* proposto é composto de três módulos. São eles:

- balanço de massa: O balanço de massa visa garantir a idoneidade das informações do processo que serão manuseadas no balanço térmico e no algoritmo do cálculo do consumo de carbono;
- balanço térmico: O balanço térmico identifica os principais fornecedores e consumidores de calor do processo. Ele fornece, através do cálculo da diferença de entrada e saída de calor, as perdas térmicas do processo. As

perdas térmicas calculadas no processo constituem um importante valor de entrada do modulo seguinte;

- algoritmo do cálculo do consumo de carbono “*modelo termoquímico*”: A partir das variáveis de processo informadas na Tabela 2, foi desenvolvido um algoritmo com base no balanço térmico global do alto-forno que explicita a variável perda térmica, calculada no modulo do balanço térmico, e realiza o calculo do consumo de carbono para a estabilização do processo. Desta forma, para toda alteração nas variáveis de processo um novo valor de consumo de carbono é calculado pelo *modelo*.

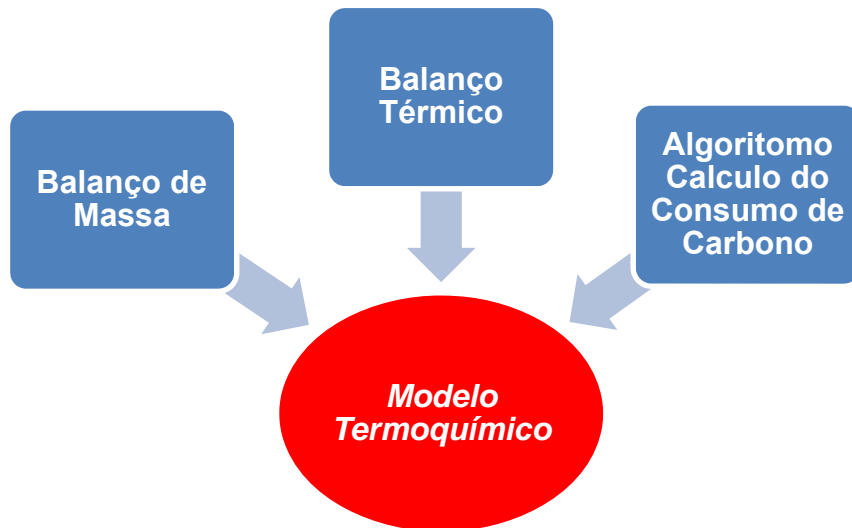


Figura 1.

Tabela 3. Variáveis de entrada do calculo de carbono “*modelo termoquímico*”

CATEGORIA	Nº	VARIÁVEL	UNIDADE
Carbonatos não calcinados	1	Peso	kg/t
	2	Teor de CaO	%
	3	Teor de MgO	%
Carvão Vegetal	4	Teor de carbono fixo	%
	5	Teor de material volátil	%
Composição do gusa	6	Teor de carbono	%
	7	Teor de silício	%
	8	Teor de manganês	%
	9	Teor de fosforo	%
	10	Teor de ferro	%
	11	Temperatura de vazamento	°C
Composição da escória	12	Teor de CaO	%
	13	Teor de MgO	%
	14	Teor de SiO2	%
	15	Teor de Al2O3	%
	16	Teor de FeO	%
	17	Teor de MnO	%
	18	Volume	kg/t
	19	Temperatura de vazamento	°C

Tabela 3. Variáveis de entrada do cálculo de carbono “*modelo termoquímico*” (Cont.)

Pó e Lama	20	Peso	kg/t
	21	Carbono Fixo	%
Ar soprado	22	Temperatura do ar soprado	°C
	23	Umidade do ar soprado	g/Nm ³
Composição do gás de topo	24	Teor de CO	%
	25	Teor de CO ₂	%
	26	Teor de H ₂	%
	27	Temperatura	°C
Carga	28	Umidade da Carga Ferrífera	kg/t
Balanço térmico	29	Perdas Térmicas	Kcal/t

4 TRATAMENTO DOS DADOS OPERACIONAIS DO ALTO-FORNO 2

O período escolhido para a simulação do *modelo termoquímico* com os dados operacionais reais do alto-forno 2, foi do dia 15 a 31 de janeiro de 2013.

Essa escolha foi em função da marcha regular do alto-forno, e do fato que durante esse intervalo de dias não ocorreram mudanças bruscas da carga e ou situações operacionais especiais que comprometessem a avaliação dos dados.

O resultado obtido para o valor do consumo específico de carbono calculado pelo *modelo termoquímico* foi balizado com os valores reais da operação demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4. Carbono real e calculado

Data	Real kg/t	Calculado kg/t	ΔT kg/t
15	423	414	9,0
16	424	425	-1,0
17	421	425	-4,0
18	476	444	32,0
19	412	414	-2,0
20	463	444	19,0
21	442	435	7,0
22	491	432	59,0
23	422	440	-18,0
24	449	443	6,0
25	442	443	-1,0
26	482	462	20,0
27	437	443	-6,0
28	454	432	22,0
29	462	444	18,0
30	455	438	17,0
31	457	448	9,0

Com a utilização do *modelo termoquímico* para realizar o cálculo da carga de carbono a ser carregada no alto-forno, ocorreria uma redução de aproximadamente

11 kg no consumo específico de carbono por tonelada de gusa, caso o *modelo* estivesse atuando na data da realização da simulação.

Essa economia prevista é coerente com a realidade da operação do alto-forno 2, que apesar de possuir um avançado controle de processo, ainda opera em muitos casos fora da faixa desejada de temperatura do ferro gusa, que é de no mínimo 1360°C e no máximo 1400°C, como pode ser visto no Figura 2 (Temperatura do ferro gusa).

Foi constatada uma constância do carbono calculado quando comparado com o carbono real carregado; a estabilidade no enforamento do peso de carbono objetivando um nível térmico constante para a operação do alto-forno, refletira em uma operação ótima, com variação da temperatura do ferro gusa em uma faixa estreita, possibilitando a operação em nível térmico mais baixo, com conseqüente redução do consumo de carbono e elevação dos níveis de produção.

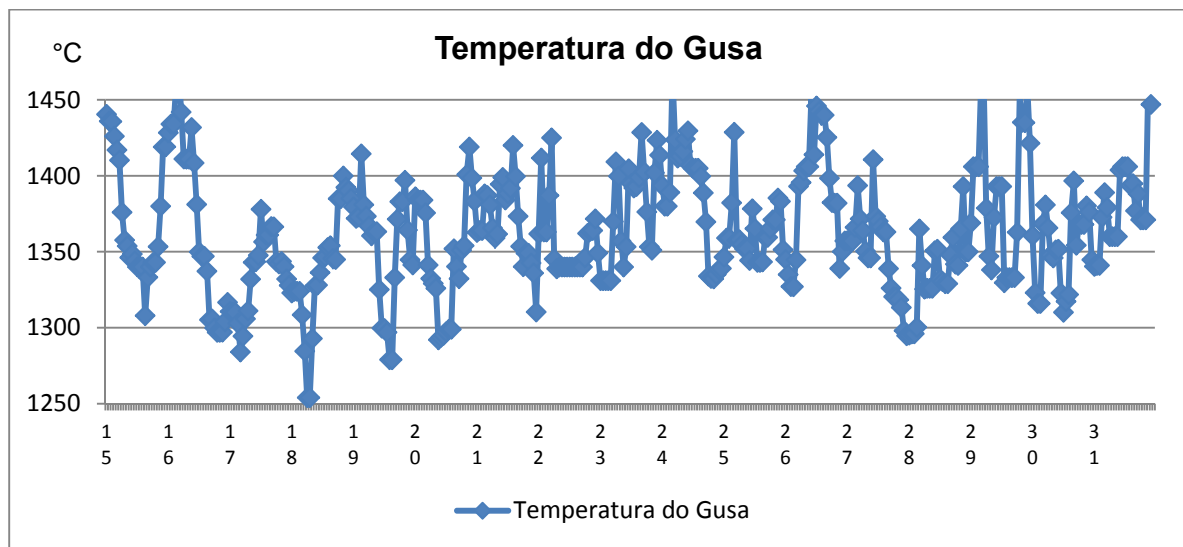


Figura 2. Temperatura do ferro gusa.

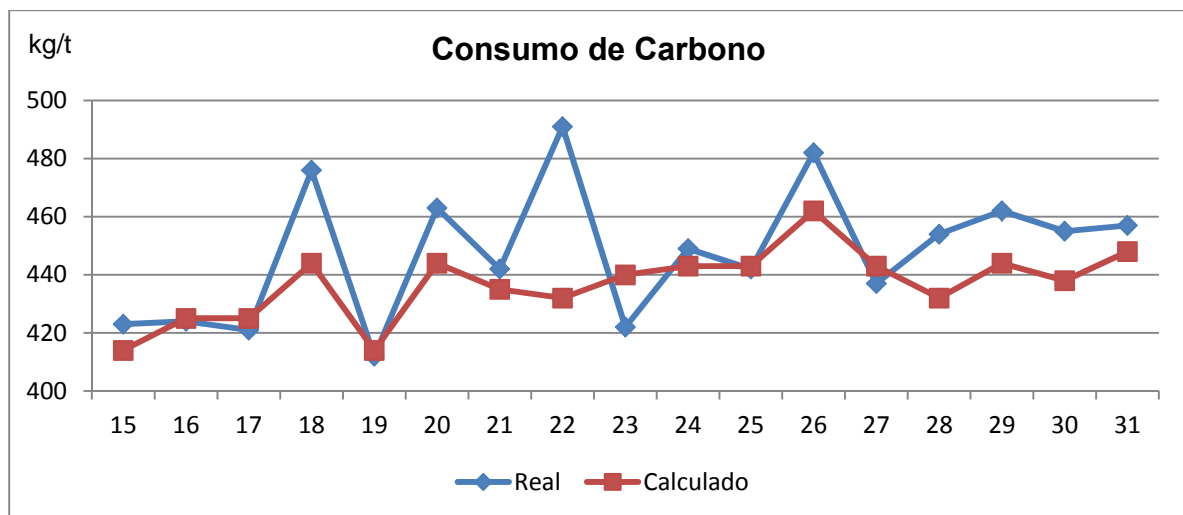


Figura 3. Consumo de carbono real e calculado.

5 IMPLANTAÇÃO DO MODELO TERMOQUÍMICO NA GUSA NORDESTE

A usina Gusa Nordeste S.A de Açailândia – MA, possui 3 mini altos-fornos, 2 em operação , com capacidade nominal total de 360.000 t/ano. Produz gusa de aciaria voltado para o mercado externo, mas muito em breve todo o gusa será destinado a aciaria, AVB “Aço Verde do Brasil”.

Após a realização da simulação do calculo da carga de carbono do alto-forno 2 através do *modelo termoquímico*, a diretoria da Gusa Nordeste decidiu incorporar a rotina de cálculos do modelo na operação de seus altos-fornos.

A rotina de cálculos do modelo termoquímico foi introduzido no sistema de tratamento das informações de processo dos altos-fornos, sistema já existente na Gusa Nordeste, e de 20 em 20 minutos é realizado o calculo da carga de carbono de forma *online*, informando ao operador do alto-forno a carga proposta para carregamento.

O comissionamento do modelo está programado para a ultima semana de maio de 2013, e espera-se que em meados de julho seja possível apresentar resultados operacionais reais da utilização de um modelo termoquímico na operação de mini altos-fornos a carvão vegetal.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que a aplicação do *modelo termoquímico* a um alto-forno já tão bem operado, como é o caso do alto-forno nº2 da Gusa Nordeste, ainda gera margem para ganhos no consumo de redutor e na produtividade. Tal se deve ao fato de que o controle termoquímico permite correções no processo assim que algum desvio começa a ocorrer, proporcionando uma marcha mais estável do alto-forno, com a possibilidade de se trabalhar com nível térmico mais baixo.

Agradecimentos

A diretoria da Gusa Nordeste e da AVB pela autorização para apresentar o presente trabalho.

A Comissão de Redução da ABM pela oportunidade em apresentá-lo no 44º. Seminário de Redução de Minério de ferro e Matérias Primas e 14º. Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro.

A Minitec pelo apoio na aplicação do *modelo termoquímico*.

BIBLIOGRAFIA

- 1 CASTRO, L.F.A; Campos, V.F. Desenvolvimento de Controle de Processo para Altos-fornos a Carvão Vegetal – Controle Termoquímico. In. SEMINÁRIO COMINI/COMAP, 1983, Cubatão, São Paulo: ABM, set. 1983.