

MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE ALTOS-FORNOS A CARVÃO VEGETAL EM SISTEMAS CORPORATIVOS¹

Giovanni Felice Salierno²
Alexandre Fonseca e Silva³
Francisco Javier Alvarado Águila⁴
Mário Cesar Pinto Peraça⁵

Resumo

Foi desenvolvido um modelo auxiliar visando o monitoramento do desempenho dos altos-fornos a carvão vegetal, focado em ferramentas para o cálculo e visualização gráfica de parâmetros que facilitem a interpretação do andamento da produção de ferro gusa. Tais ferramentas são disponibilizadas na forma de gráficos em aplicativo no sistema PIMS (Plant Information Management System) gerados a partir de cálculos matemáticos baseados em dados dos bancos de dados dos sistemas corporativos de indústrias siderúrgicas. A etapa da coleta dos dados é feita por um historiador, uma ferramenta rápida de busca às bases de dados com alta compactação dos dados. Os índices disponibilizados nas ferramentas são: o cálculo da temperatura de chama, do leito de fusão, análise dos gases e dados relativos à produção. Para este trabalho foi utilizado uma planilha para geração de dados aleatórios para simulação de um banco de dados de uma siderúrgica, dados que são coletados pelo historiador. A efetuação dos cálculos e a geração dos gráficos são feitas também em uma planilha, onde pode-se acessar os dados históricos ou on-line. Essas ferramentas se mostraram de fácil aplicação, sugerindo alta viabilidade de implementação.

Palavras-chave: Alto-forno; Desempenho; Historiador; PIMS.

CHARCOAL BLAST FURNACE PERFORMANCE MANAGEMENT IN CORPORATIVE SYSTEMS

Abstract

An experimental model was developed in order to monitor the charcoal blast furnace performance, with tools that make calculations and generate graphs of the parameters that facilitate the pig iron production agreement. These tools are used as graphs in applicatory in PIMS(Plant Information Management System) systems gotten from math calculations with the ironmaking industry database data in the corporative systems. An historian does the data collection, it's a great tool for data collection and management. The indices in the developed tools are the following: the flame temperature, fusing bed, analysis of the gases and production. In the development of this work it was used an sheet for a random data generation to simulate an ironmaking industry data base. These data are collected by the historian. The calculations and the graphs generation are made in sheet too, where it's possible to access historic and on-line data. These tools shown to be of an easy application, suggesting high viability of implementation.

Key words: Blast furnace; Performance; Historian; PIMS.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro de Controle e Automação – AST Automação Serviços e Tecnologia, Av. Uruguai 13, 5º andar, Sion. Belo Horizonte – MG. CEP: 30310-300. Telefone: (31)3223 4800. E-mail: salierno@ast.com.br.*

³ *Diretor de Operações – AST Automação Serviços e Tecnologia, Av. Uruguai 13, 5º andar, Sion. Belo Horizonte – MG. CEP: 30310-300. Telefone: (31)3223 4800. E-mail: fonseca@ast.com.br.*

⁴ *Diretor Executivo – AST Automação Serviços e Tecnologia, Av. Uruguai 13, 5º andar, Sion. Belo Horizonte – MG. CEP: 30310-300. Telefone: (31)3223 4800. E-mail: francisco.javier@ast.com.br.*

⁵ *Gerente de Automação – AST Automação Serviços e Tecnologia, Av. Uruguai 13, 5º andar, Sion. Belo Horizonte – MG. CEP: 30310-300. Telefone: (31)3223 4800. E-mail: mariopeixe@ast.com.br.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é uma das mais importantes para a economia brasileira e produção de ferro gusa em altos-fornos a carvão vegetal vem tendo um grande crescimento de produção no Brasil, impulsionado pela qualidade do produto e pela grande importância de uma produção com menor impacto ambiental.

Entretanto, siderúrgicas a carvão vegetal carecem de investimentos em tecnologias de automação, TA, e de informação, TI, quando comparadas com as que utilizam coque como principal combustível.

Investimentos em TAs e TIs nos sistemas corporativos é uma tendência nos diversos ramos industriais. Neste caso foi desenvolvido ferramentas no PIMS para as indústrias que produzem gusa com carvão vegetal como principal combustível.

Localizado entre as camadas de supervisão e controle e os demais sistemas das indústrias, o PIMS (Plant Information Management System) é constituído por ferramentas para gerenciamento de informações. Atuando de maneira a concentrar as informações importantes de todo o processo (supervisão, SDCDs, CLPs, etc) e as disponibiliza para qualquer organização dentro dos sistemas corporativos.

O PIMS se mostra eficiente na coleta, no armazenamento e na disposição dos dados. A coleta de dados é feita através de ferramentas específicas para comunicação com os diversos sistemas da indústria. O armazenamento é feito em uma base de dados com grande compactação e alta velocidade de resposta.

O historiador (PIMS) tem como características principais: a alta capacidade de coletar, arquivar e distribuir grande quantidade de dados de sistemas industriais de maneira eficiente e com alto desempenho. Um recurso interessante para uso nos sistemas corporativos é opção de uso de um coletor OPC que acessa e envia os dados de processo para o servidor no CPD. Com os dados de processo armazenados o programa do sistema corporativo conecta com o banco de dados temporal do historiador através de uma interface OLEDB.

A análise do desempenho do alto-forno a carvão vegetal tem por objetivo o monitoramento das variáveis influentes na produção de ferro gusa. Por meio de ferramentas de coleta de dados a partir de um historiador, são gerados relatórios de produção, consumo de matérias-primas, acompanhamento da produção e gráficos de tendências de parâmetros produtivos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvido um modelo de simulação destas ferramentas propostas. Este modelo é constituído por um simulador de dados de um alto-forno, um historiador e uma interface gráfica.

O simulador de dados foi feito em um software de planilha, onde são gerados dados aleatórios dentro de determinadas faixas de valores conhecidos para as variáveis do processo. As variáveis utilizadas encontram-se na Tabela 1. Sempre que os dados são atualizados são gerados arquivos com os mesmos, e esses arquivos são coletados periodicamente pelo historiador.

A interface gráfica foi feita com gráficos gerados em um arquivo também no software de planilha, e os valores das variáveis para os cálculos e geração dos gráficos são atualizados automaticamente com a atualização no historiador.

Tabela 1. Lista de variáveis e descrição.

Nome	Descrição
LAB_AL2O3BAUXITA	Al ₂ O ₃ na bauxita
LAB_AL2O3CINZACARVAO	Al ₂ O ₃ na cinza do carvão
LAB_AL2O3ESCORIA	Al ₂ O ₃ na escória
LAB_AL2O3MINFERRO	Al ₂ O ₃ no minério de ferro
LAB_AL2O3MINMANGANES	Al ₂ O ₃ no minério de manganês
LAB_AL2O3POEIRATOPO	Al ₂ O ₃ na poeira de topo
LAB_AL2O3QUARTZO	Al ₂ O ₃ no quartzo
LAB_ALCALISCINZACARVAO	Alcalis na cinza do carvão
LAB_ALCALISMINFERRO	Alcalis no minério de ferro
LAB_ALCALISPOEIRATOPO	Alcalis na poeira de topo
LAB_CAOCALCDOLO	CaO no calcário e dolomita
LAB_CAOCARGAMETALICA	CaO na carga metálica
LAB_CAOCINZACARVAO	CaO na cinza do carvão
LAB_CAOESCORIA	CaO na escória
LAB_CAOPOEIRATOPO	CaO na poeira de topo
LAB_CAOQUARTZO	CaO no quartzo
LAB_CCARVAO	Carbono fixo no carvão carregado
LAB_CGUSA	Carbono no gusa
LAB_CH4TOPO	CH ₄ no topo
LAB_CO2TOPO	CO ₂ no topo
LAB_COTOPO	CO no topo
LAB_FEBAXITA	Ferro na bauxita
LAB_FECALCDOLO	Ferro no calcário e dolomita
LAB_FECARGAMETALICA	Ferro na carga metálica
LAB_FECINZACARVAO	Fe na cinza do carvão
LAB_FEGUSA	Ferro no gusa
LAB_FEMINMANGANES	Ferro no minério de manganês
LAB_FEOESCORIA	FeO na escória
LAB_FEPOEIRATOPO	Fe na poeira de topo
LAB_H2TOPO	H ₂ no topo
LAB_MGOCARGAMETALICA	MgO na carga metálica
LAB_MGOCINZACARVAO	MgO na cinza do carvão
LAB_MGOESCORIA	MgO na escória
LAB_MGOPOEIRATOPO	MgO na poeira de topo
LAB_MGOQUARTZO	MgO no quartzo
LAB_MNCINZACARVAO	Mn na cinza do carvão
LAB_MNGUSA	Mn no gusa
LAB_MNMINFERRO	Mn no minério de ferro
LAB_MNMINMANGANES	Mn no minério de manganês
LAB_MNOESCORIA	MnO na escória
LAB_MNPOEIRATOPO	Mn na poeira de topo
LAB_N2TOPO	N ₂ no topo
LAB_PECINZACARVAO	Peso da cinza do carvão
LAB_PEPOEIRATOPO	Peso da poeira do gás de topo
LAB_PGUSA	P no gusa
LAB_SGUSA	S no gusa
LAB_SIGUSA	Si no gusa
LAB_SIO2BAUXITA	SiO ₂ na bauxita
LAB_SIO2CALCDOLO	SiO ₂ no calcário e dolomita
LAB_SIO2CINZACARVAO	SiO ₂ na cinza do carvão
LAB_SIO2ESCORIA	SiO ₂ na escória
LAB_SIO2MINFERRO	SiO ₂ no minério de ferro
LAB_SIO2MINMANGANES	SiO ₂ no minério de manganês
LAB_SIO2POEIRATOPO	SiO ₂ na poeira de topo
LAB_SIO2QUARTZO	SiO ₂ no quartzo
LAB_VOLATEISCARVAO	Materiais voláteis no carvão

ONL_ENRO2	Enriquecimento de O ₂
ONL_PSOPRO	Pressão de sopro
ONL_PTOPO	Pressão no Topo
ONL_TSOPRO	Temperatura de sopro
ONL_TTOPO	Temperatura do Topo
PRO_ESCORIAGR	Escória granulada
PRO_PEB AUXITA	Peso da bauxita carregada
PRO_PECALCDOLO	Peso do calcário e dolomita carregados
PRO_PECARGAMETALICA	Peso da carga metálica carregada
PRO_PECARVAO	Peso do carvão carregado
PRO_PEMINMANGANES	Peso do minério de manganês carregado
PRO_PEQUARTZO	Peso do quartzo carregado
PRO_PRESCORIA	Produção de escória
PRO_PRGUSA	Produção de gusa
PRO_PRGUSAPR	Produção de gusa prevista
PRO_TESCORIA	Temperatura da escória
PRO_TGUSA	Temperatura do gusa
PRO_UMICARVAO	Umidade do carvão carregado
PRO_UMISOPRO	Umidade do ar de sopro
PRO_UMITOPPO	Umidade do gás de topo
PRO_VOLARSOPRO	Volume do ar de sopro
PRO_VOLCARVAO	Volume de carvão carregado
PRO_VOLGASTOPO	Volume do gás de topo
PRO_VOLINTERNOAF	Volume interno do alto-forno

As ferramentas foram desenvolvidas para cálculo, análise e geração de gráficos para os seguintes índices:

- Temperatura de chama;
- Leito de fusão;
- Índices operacionais do alto-forno (índice de produtividade, produção, consumo de combustível, basicidade da escória, vazão de sopro);
- Análise de gases (gás do topo do alto-forno, rendimento gasoso, temperatura de topo, permeabilidade do alto-forno).

- Temperatura de chama⁽¹⁾

Temperatura de chama é a temperatura dos gases ao saírem da zona de combustão. Podendo ser estimada por balanço térmico. Obtenção do seu valor e controle são de grande importância para a operação do alto-forno. Ela tem influência nos níveis térmicos do forno, afetando assim as temperaturas do ferro gusa e da escória, o escoamento gasoso e a incorporação de elementos ao gusa. Abaixo está a fórmula matemática utilizada.

$$T_{\text{CHAMA}} = 1267,9 + 0,9742 \times T_s + 57,6358 \times E_{\text{ar}} - 7,1458 \times U_{\text{ar}}$$

Onde,

T_{CHAMA} é a temperatura de da chama;

T_s é a temperatura do ar de sopro;

E_{ar} é a taxa de enriquecimento de oxigênio no ar de sopro;

U_{ar} é a umidade do ar de sopro.

- Leito de fusão:

Leito de fusão é o cálculo da quantidade de matérias primas necessárias a serem carregadas no topo do alto-forno para uma estipulada produção de ferro gusa. Com

a composição e peso do ferro gusa e escória produzidos e a composição das matérias primas é feito um balanço de massa para se obter a quantidade de matérias primas a serem carregadas no alto-forno para se produzir uma tonelada de ferro gusa.

- Consumo de combustível:

É a relação entre a quantidade de carvão consumida pela produção de ferro gusa.

- Vazão de sopro:

Tendo o valor do consumo de combustível por produção de gusa, é calculada vazão de sopro necessária para atender a produção prevista.

- Gás do topo do alto-forno:

A composição dos gases que saem no topo do alto-forno refletem como está sendo a redução do minério de ferro. Os principais gases são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o hidrogênio (H), o gás nitrogênio (N₂) e os compostos aromáticos (C_mH_n).

- Rendimento gasoso:⁽²⁾

É a relação entre os gases CO e CO₂. A fórmula abaixo:

$$\eta_{CO} = \frac{CO_2}{CO + CO_2}$$

Onde,

η_{CO} é o rendimento gasoso;

CO CO₂ são a quantidade dos mesmos no topo do alto-forno.

- Permeabilidade do alto-forno:⁽²⁾

A permeabilidade é um índice que quantifica a facilidade de escoamento dos gases pelo corpo do alto-forno. A fórmula matemática utilizada para o seu cálculo está abaixo.

$$\frac{V}{P_S - P_T}$$

Onde,

V é vazão de sopro de gás no alto-forno;

P_S é a pressão de sopro;

P_T é a pressão no topo do alto-forno.

3 RESULTADOS

Com a simulação feita, foi possível acompanhar o desempenho de um alto-forno virtual. A seguir seguem alguns dos gráficos gerados neste modelo.

Na Figura 1 pode ser visto gráficos com a temperatura de chama e com parâmetros que a influenciam: temperatura de sopro, enriquecimento de oxigênio do ar de sopro e umidade do mesmo.

Na Figura 2 está o gráfico indicando o cálculo do Leito de Fusão. O qual pode ser calculado de diversas formas e adaptado pra cada equipe de operação de cada alto-forno.

O cálculo da permeabilidade do alto-forno pode ser analisado através do gráfico exposto na Figura 3, junto estão também os gráficos das variáveis influentes neste cálculo, vazão de sopro, pressão de sopro e pressão de topo.

O rendimento gasoso, ou rendimento de CO, é mostrado na Figura 4, junto com o gráfico dos gases de topo do alto forno.

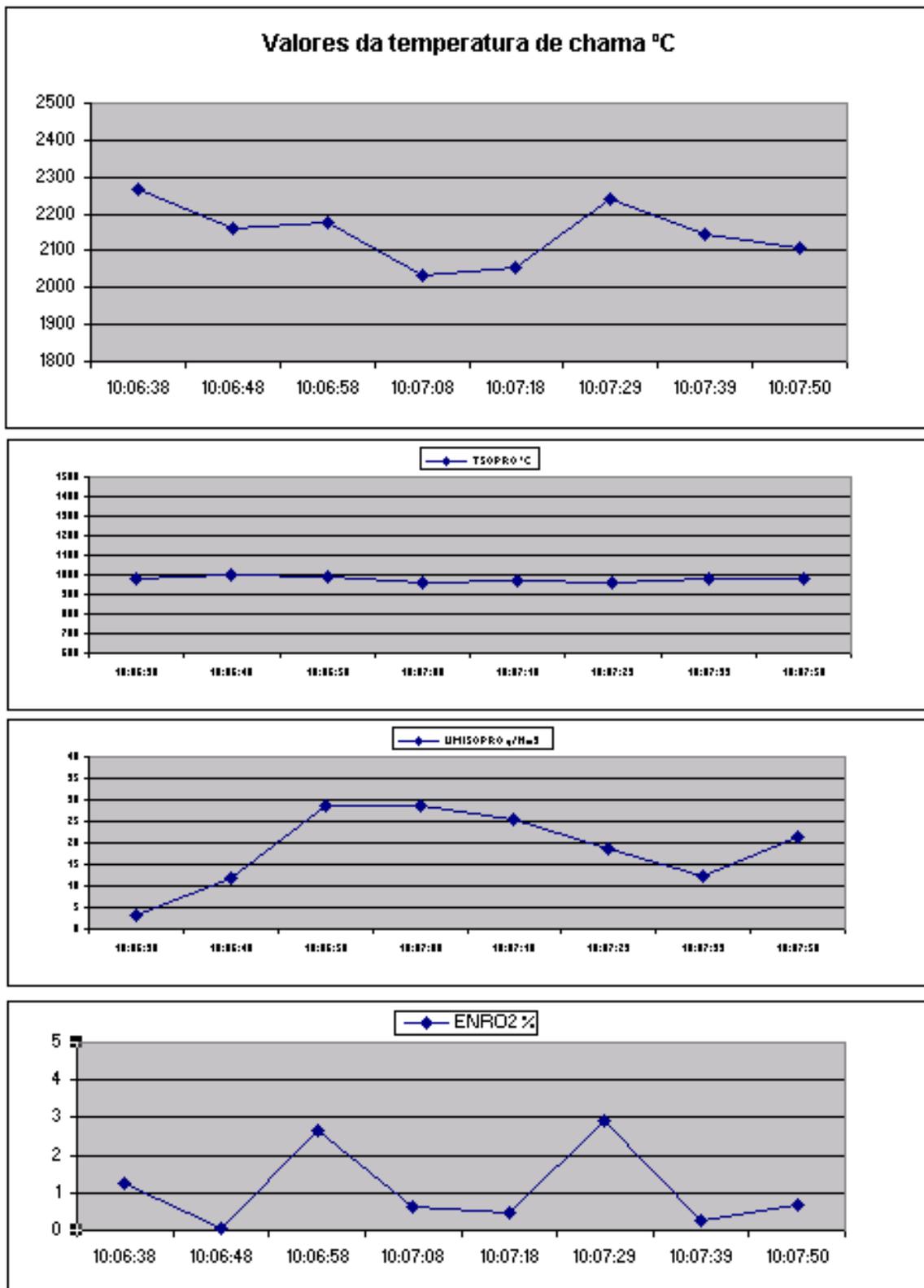


Figura 1. Cálculo da Temperatura de Chama.

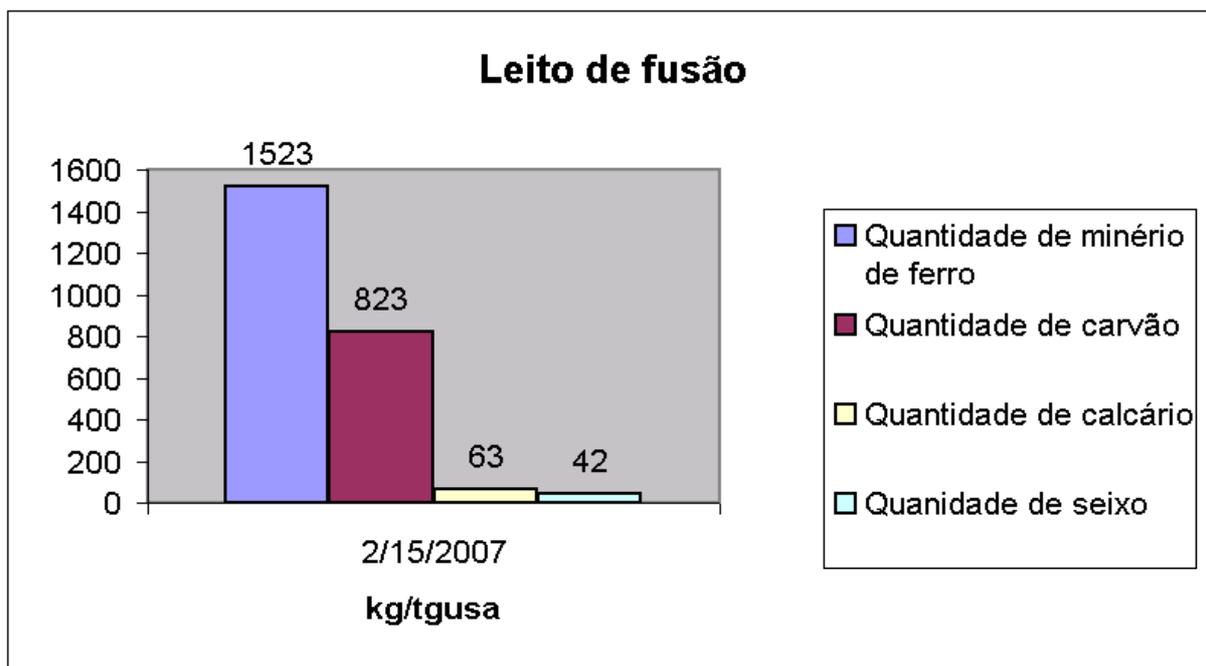


Figura 2. Cálculo do Leito de Fusão.

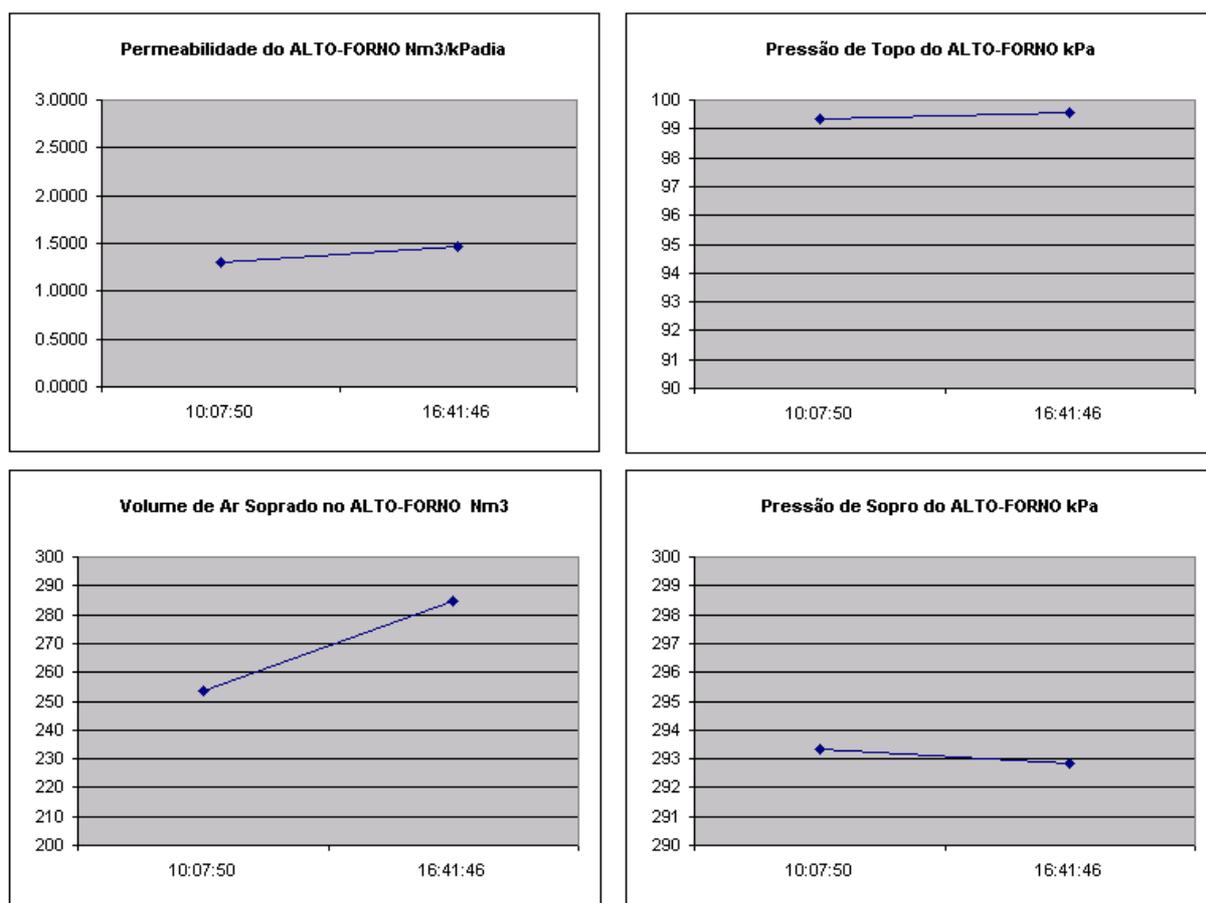


Figura 3. Cálculo da permeabilidade do alto-forno.

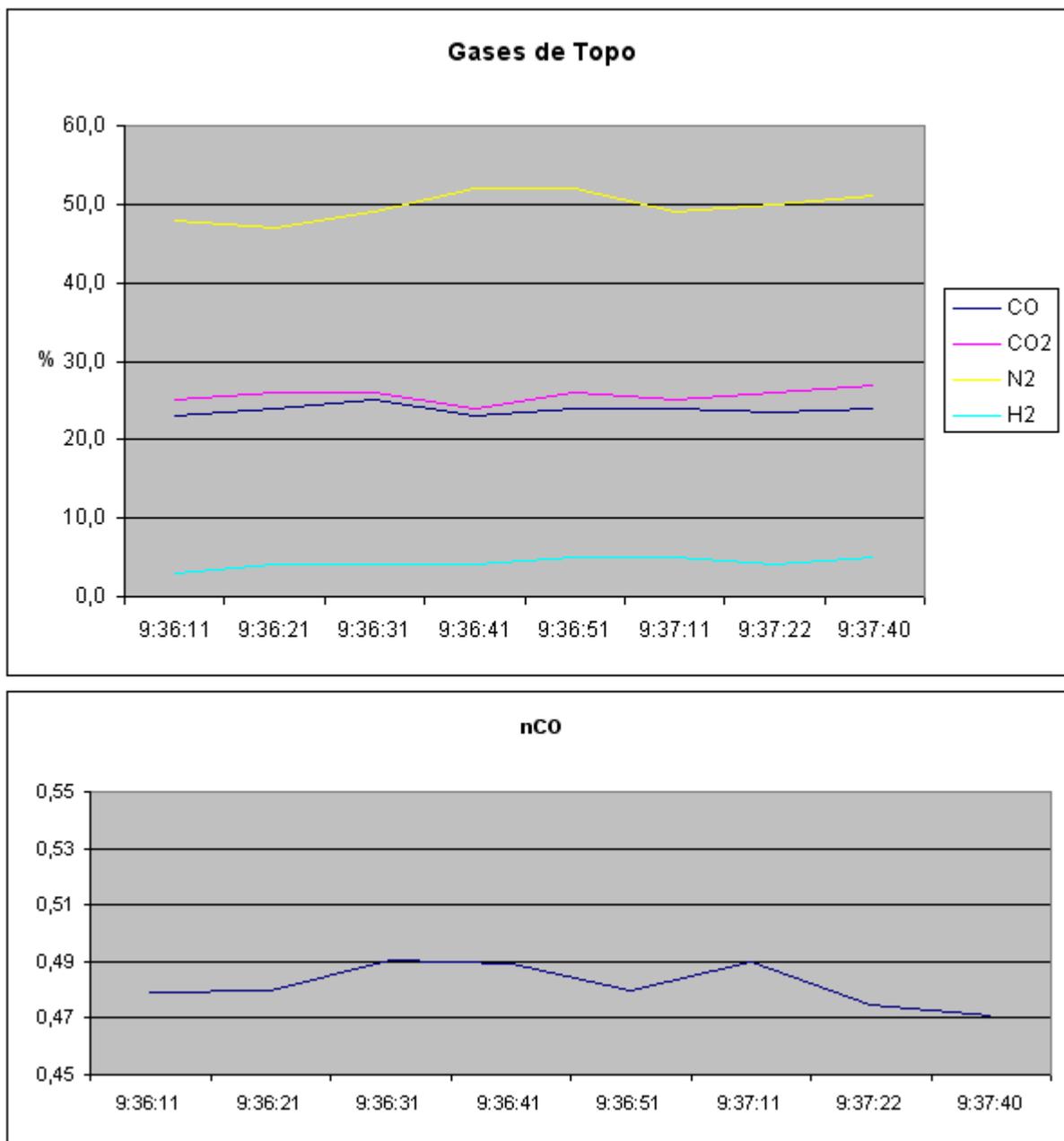


Figura 4. Rendimento gasoso (Rendimento de CO).

4 DISCUSSÃO

A metodologia utilizada para simulação de dados de um alto-forno se mostrou satisfatória, sendo a utilização de um servidor OPC não muito diferente.

O historiador teve um desempenho esperado, sugerindo uma viável aplicação para solução em TIs e TAs nas referidas siderúrgicas.

A visualização gráfica em software de planilha atende às expectativas de simulação de softwares gráficos.

O método proposto apresentou uma complexidade de implementação baixa quando comparada a outros recursos de tecnologias de informação e automação para siderúrgicas.

5 CONCLUSÃO

As simulações atenderam às expectativas de aplicação em um processo industrial. A viabilidade de uma implementação de ferramentas adequadas para o gerenciamento de altos-fornos é alta, uma vez que grande parte das siderúrgicas a carvão vegetal carece de sistemas de automação e informação.

A confiabilidade das informações possibilita implementar essas ferramentas para análise de produção com cálculos de indicação de integrados para a manutenção e produção.

Tais recursos podem ser disponibilizados na rede intranet, permitindo acessos remotos para a supervisão do desempenho desses altos-fornos, possibilitando a redução da variabilidade do processo com impacto direto no lucro da empresa. A discussão é a parte principal do trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Dr. Ronilson Rocha do Departamento de Engenharia de Controle e Automação – DECAT da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e ao professor Dr. Paulo Santos Assis do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFOP pelo apoio e ajuda nas pesquisas e no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 CASTRO, Luiz F. A.; Tavares, Roberto P. T., Tecnologia de Fabricação de Ferro Gusa em Alto-fornos, 1998, UFMG, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- 2 ARAÚJO, Luiz A., Manual de Siderurgia, São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997. v. 1.
- 3 CASTRO, Luiz F. A., Desenvolvimento de um Sistema de Supervisão para Altos-fornos a Carvão Vegetal, 1983, UFMG. SANT'ANA, P.J.P. As parcerias para a bioprospecção no Brasil. Parcerias Estratégicas, Brasília, DF, n. 15, p. 111-127, out. 2002.
- 4 CASTRO, Luiz F. A., Desenvolvimento de um Modelo de Controle para Altos-fornos a Carvão Vegetal, 2002, UFMG.