

# OPERAÇÃO DOS ALTOS-FORNOS DA V&M DO BRASIL COM ALTAS TAXAS DE INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO

Rafael Porto de Oliveira <sup>1</sup>

Hélio Manetta <sup>2</sup>

Jadir das Graças Cruz <sup>3</sup>

Mário Emílio da Silveira Maia <sup>4</sup>

Denise Araújo Gomes <sup>5</sup>

Mário Rosa Monteiro <sup>6</sup>

Guilherme Borges da Costa <sup>7</sup>

## Resumo

A motivação deste trabalho foi devido ao interesse em alcançar elevadas taxas de injeção de carvão vegetal pulverizado nas ventaneiras dos Altos-Fornos da V&M do Brasil, visando reduzir o consumo global de carvão vegetal e conseqüente custo de produção. O projeto teve início em março de 2005 e consistiu na adoção e implementação de alguns parâmetros operacionais e investimentos para a otimização do sistema de injeção, instalação de uma nova moagem, nova planta de peneiramento de carvão, implantação de dupla lança de injeção e projetos de P&D para estudo da combustão de carvão vegetal pulverizado. Com a melhor distribuição do tempo de injeção, melhor qualidade do carvão vegetal, injeção com dupla lança e conhecimento adquirido com os projetos de P&D foi possível elevar a taxa de injeção média nos altos-fornos da V&M do Brasil em 50 kg/t com conseqüente redução do consumo de carvão de topo com altas produtividades.

**Palavras-chave:** Altos-fornos; Carvão vegetal pulverizado; Taxa de injeção.

## OPERATION OF THE BLAST FURNACES OF V&M DO BRASIL WITH HIGH PCI

### Abstract

This work was created to increase PCI (Pulverized Charcoal Injection) rates on the blast furnaces of the V&M from Brazil in order to reduce the global charcoal consumption and costs. This project began in March 2005 by implementation of some operational controls and some investments as PCI plant revamp, implementation of a new milling, double tuyere project, new charcoal screen and some research and development projects. After the benefits of all implementation the PCI rates were increased in 50 kg/t with charcoal reduction and high productivity.

**Key words:** Blast furnace; Pulverized charcoal; PCI.

## I INTRODUÇÃO

A grande maioria das empresas produtoras de ferro gusa em altos-fornos vem praticando a injeção de carvão pulverizado pelas ventaneiras, prática que permite redução do consumo de carvão vegetal ou coque carregado pelo topo permitindo um ganho econômico, uma vez que os redutores carregados pelo topo apresentam custo superior aos finos de carvão injetados.

Para uma usina integrada a carvão vegetal, sem sinterização como a da V&M do Brasil tem-se a geração de grande quantidade de finos. O carvão vegetal desde sua fabricação nas carvoeiras até o alto-forno gera uma quantidade de finos (fração < 12 mm) que podem chegar a 31%. Estes finos gerados podem ser vendidos para outras usinas ou processados para serem injetados. A

<sup>1</sup>Engenheiro Metalurgista, Gerência de Produção de Ferro Gusa. Rua Aristóteles Caldeira 30/202 30410-170 – Belo Horizonte – MG. rafaelporto2002@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Engenheiro Metalurgista, Gerente Responsável pela Produção de Ferro Gusa. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010 - Belo Horizonte - MG. helio.manetta@vmtubes.com.br

<sup>3</sup>Técnico Metalúrgico, Coordenador Técnico. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010- Belo Horizonte - MG. jadir.cruz@vmtubes.com.br

<sup>4</sup>Engenheiro Metalurgista, Gerência de Produção de Ferro Gusa. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010 - Belo Horizonte - MG. mario.maia@vmtubes.com.br

<sup>5</sup>Engenheira Química, Engenharia de Processos e de Desenvolvimento. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010- Belo Horizonte - MG. denise.gomes@vmtubes.com.br

<sup>6</sup>Técnico Industrial, Engenharia de Processos e de Desenvolvimento. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010- Belo Horizonte - MG. mario.monteiro@vmtubes.com.br

<sup>7</sup>Estagiário de Engenharia Metalúrgica da UFMG. Av. Olinto Meireles, 65 30640-010- Belo Horizonte - MG. guilherme.borges@vmtubes.com.br

maioria das empresas vem buscando praticar a segunda opção, pois a injeção de carvão vegetal pulverizado proporciona outras vantagens relacionadas ao aumento do tempo de residência da carga metálica contribuindo para um melhor aproveitamento dos gases redutores e conseqüente redução do consumo de carvão vegetal.<sup>(1)</sup>

Para uma melhor avaliação dos benefícios, é necessário determinar o limite econômico para a prática da injeção de carvão pulverizado que deve levar em consideração a produtividade bem como o custo da carga carregada no alto-forno.

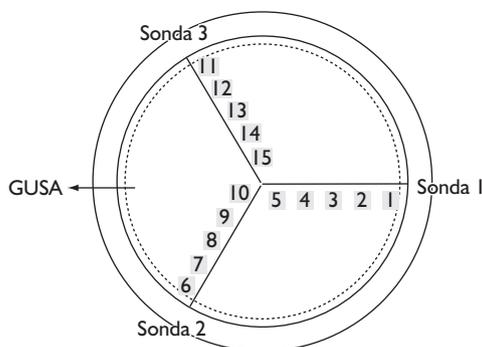
Ao longo deste trabalho, serão apresentadas as medidas adotadas e implementadas para elevar a taxa de injeção nos altos-fornos da V&M do Brasil.

## 2 MODIFICAÇÕES IMPLEMENTADAS

### 2.1 Mudanças Operacionais dos Altos-Fornos

#### 2.1.1 Alto-forno I

Os altos-fornos I e 2 da V&M do Brasil são equipados com o sistema de distribuição de carga dotado de placas moveis e sondas radiais transversais instaladas no topo do alto-forno como ilustra a Figura 1. Através das placas móveis é possível a prática de vários programas de distribuição de carga para definir a melhor prática para uma melhor performance do alto-forno. Para um melhor aproveitamento dos gases redutores foi definido que a melhor relação entre a temperatura do centro (pontos 15, 5 e 10) sobre a temperatura das extremidades (pontos 1, 6 e 11) estariam entre o valor 2 a 2,5.



**Figura 1.** Posição dos termopares das sondas radiais instaladas no topo do alto-forno I.

Foi implementado, ainda, nos altos-fornos I e 2, o monitoramento da injeção de carvão pulverizado em cada lança de injeção de carvão permitindo o controle de obstruções de lanças através da sala de controle.

#### 2.1.2 Alto-forno 2

Ao contrário da grande maioria dos altos-fornos que utiliza *cowpers* como regeneradores de calor o alto-forno 2 está equipado com *glendons*, equipamento constituído basicamente por queimadores que geram o calor necessário para aquecer tubulações de ferro fundido ou de aço inox e promover o aquecimento do ar de sopro através da troca de calor com o ar transportado no interior da tubulação. Devido à limitações de temperatura de ar quente do alto-forno 2 foi necessário fazer algumas modificações operacionais nos glendons de forma a aumentar a troca térmica<sup>(2)</sup> e conseqüente elevação da temperatura do ar soprado pelas ventaneiras. Com temperaturas maiores foi possível manter a temperatura de chama constante para maiores taxas de injeção de carvão pulverizado que tem efeito negativo no cálculo da temperatura de chama conforme descreve a formula abaixo.

$$T_{\text{chama}} = 1463 + 0,7 \times TS + 44 \times E - 5 \times U - 1,5 \times T_{\text{icp}}$$

$T_{\text{chama}}$  = temperatura de chama (°C);

TS = temperatura de ar quente (°C);

E = enriquecimento do ar com O<sub>2</sub> (%);

U = Umidade do ar (g/Nm<sup>3</sup>);

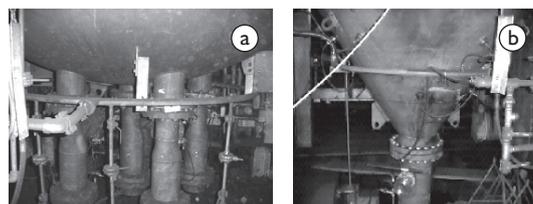
$T_{\text{icp}}$  = taxa de injeção de carvão pulverizado (kg/t de gusa).

### 2.2 Implantação da Nova Injeção de Finos no Alto-Forno I

Este projeto teve como objetivo reduzir obstruções das tubulações de injeção de carvão para uma melhor distribuição do carvão vegetal pulverizado injetado por ventaneira e conseqüente distribuição de gases no interior do alto-forno.

O projeto consistiu na substituição do sistema original do alto-forno I que apresentava muitas obstruções não permitindo uma distribuição regular da injeção de carvão pulverizado nas 12 ventaneiras.

O novo projeto implantado em outubro de 2005, consistiu na substituição do fundo dos vasos de injeção composto por 6 saídas que se subdividiam em duas dando origem à 12 tubulações, uma para cada ventaneira e passou a ter uma única saída se subdividindo em 12 tubulações (Figura 2).



**Figura 2.** Foto ilustrativa do vaso de injeção de carvão pulverizado do alto-forno I a) antes e b) após a implantação do novo sistema de injeção.

### 2.3 Implantação da Moagem 3

Buscando ser auto-suficiente na produção de carvão pulverizado para a prática de altas taxas de injeção, foi implantada em junho de 2006 uma nova instalação de moagem. Ao contrário do moinho de bolas 1 e 2 em operação na V&M do Brasil, a moagem 3 tem como princípio operacional a utilização de pêndulos, sendo equipada também com separador de cinzas.

### 2.4 Projeto de Peneiramento de Carvão (Projeto Paraopeba)

Este projeto foi coordenado pela gerencia de matérias primas da V&M do Brasil e teve como objetivo fazer um pré-peneiramento do carvão vegetal antes de ser transportado para a V&M do Brasil de forma a reduzir o percentual de finos carregado no topo dos altos-fornos além de uma separação da fração de carvão abaixo de 2 mm na qual esta concentrado o maior teor de contaminantes.

A planta de beneficiamento foi instalada em Paraopeba - MG e esta em operação desde novembro de 2006.

### 2.5 Projeto Dupla Lança de Injeção

Este projeto teve origem de um trabalho de P&D<sup>(3)</sup> desenvolvido pela V&M do Brasil em parceria com a UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), em que foi constatado através de experimentos em laboratório o efeito do contato entre combustível e comburente na combustão do carvão vegetal pulverizado.

O projeto consistiu na implantação de duas lanças de injeção em cada 1 das 12 ventaneiras do alto-forno I (Figura 3) com o objetivo de melhorar o contato entre carvão pulverizado e o ar quente soprado no interior do alto-forno proporcionando uma melhor combustão do carvão injetado na zona de combustão, essencial para prática de altas taxas de injeção.

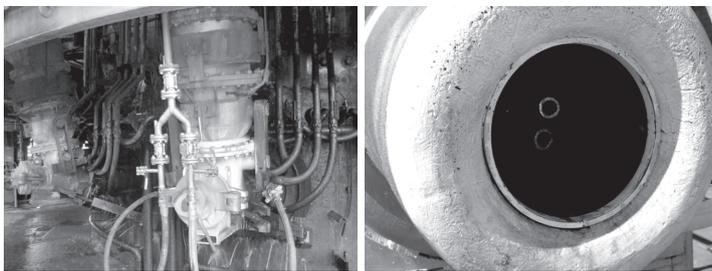


Figura 3. Foto ilustrativa da instalação da dupla lança de injeção no alto-forno I.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implantação do novo sistema de injeção no alto-forno I proporcionou redução de obstrução das linhas de transporte de carvão pulverizado permitindo uma melhor distribuição do carvão injetado em cada ventaneira e um melhor fluxo dos gases redutores na carga do alto-forno.

Esta melhoria combinada com o monitoramento do fluxo de carvão pulverizado em cada lança possibilitou um melhor controle horário do tempo de injeção por ventaneira conforme descrito na Figura 4.

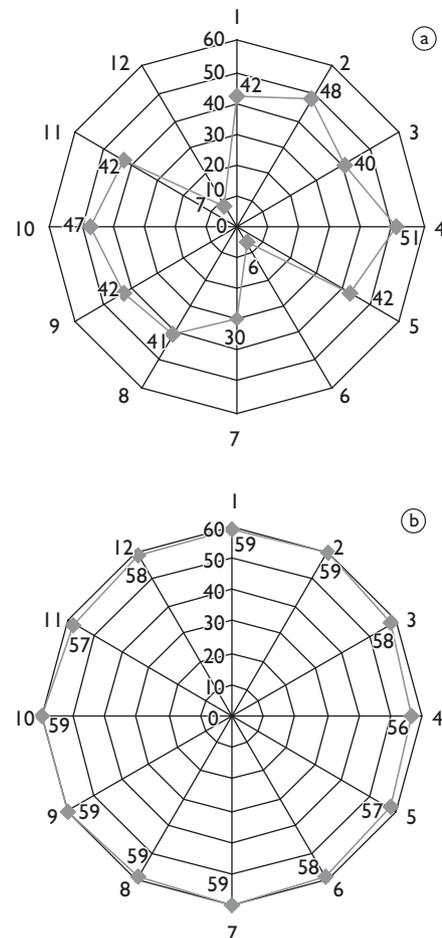


Figura 4. Variação horária do tempo de injeção por ventaneira a) antes e b) após a implantação do novo sistema de injeção no alto-forno I.

Foi constatado uma melhoria significativa da distribuição do tempo de injeção por ventaneira após a implantação do novo sistema de injeção do alto-forno I. O tempo médio de injeção por ventaneira passou de 35 para 58 minutos durante a hora. Com o maior tempo de injeção durante a hora obteve-se uma distribuição da temperatura de chama mais homogênea e por conseqüência uma melhor distribuição de energia em toda circunferência do reator.

Com a implantação da moagem 3 foi possível a produção de carvão pulverizado com uma melhor qualidade química uma vez que a nova instalação esta equipada com separador de contaminantes indesejáveis. O percentual destes contaminantes apresentou redução de 3,25% após

instalação da moagem 3 e redução de 2% devido à melhora na qualidade da moagem (fração de carvão vegetal < 12 mm) após início de operação da nova instalação de peneiramento de carvão em Paraopeba.

O comportamento operacional dos altos-fornos bem como os resultados de consumo específicos de carvão para a prática de altas taxas de injeção de carvão pulverizado foi avaliado durante o processo de implementação das modificações. Foram gerados gráficos correlacionando diferentes variáveis para ilustrar as tendências com a elevação da taxa de injeção. A Figura 5 ilustra o consumo de carvão de topo com a elevação da injeção para os altos-fornos 1 e 2.

Através da análise das Figuras 5a e 5b observa-se a tendência de decréscimo no consumo de carvão carregado pelo topo com a elevação da taxa de injeção de carvão vegetal pulverizado medida em kg/t (peso de carvão pulverizado injetado por tonelada de ferro gusa produzido).

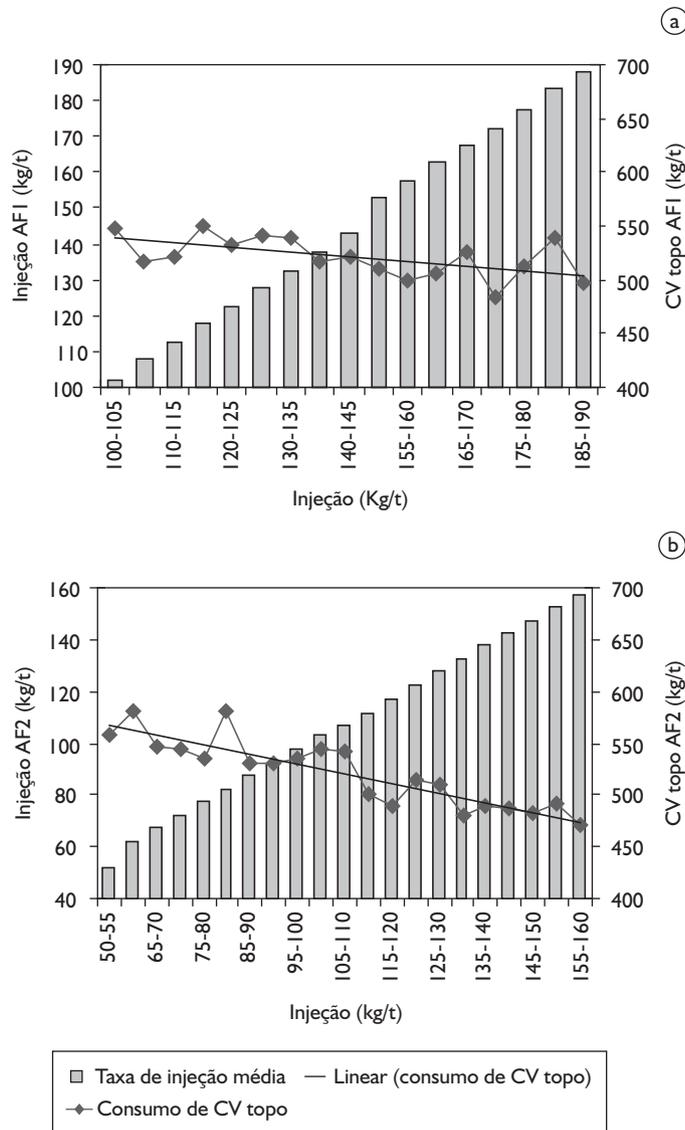


Figura 5. Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e o consumo de carvão de topo no a) alto-forno 1; e b) alto-forno 2.

O coeficiente de correlação linear  $R^2$  entre a taxa de injeção e o consumo de carvão de topo do alto-forno 1 no período de Janeiro de 2005 à outubro de 2007 foi de  $-24\%$ , considerado um valor baixo de correlação uma vez que a variável resposta “consumo de carvão de topo” é explicada pela variável explicativa “taxa de injeção de carvão pulverizado” com apenas  $24\%$  de confiança. Retirado do banco de dados o período de operação do alto-forno 1 com obstruções nas linhas de injeção (janeiro à agosto 2005) a correlação passou a ser de  $-89\%$  que reflete o resultado das melhorias implantadas.

No alto-forno 2 para taxas de injeção de até 160 kg/t a tendência de decréscimo do consumo de carvão de topo apresentou coeficiente de correlação linear  $R^2$  de  $-90\%$ .

Um dos parâmetros avaliados para a prática de altas taxas de injeção é a geração específica de pó do coletor por tonelada de gusa produzida. Com o aumento da taxa de injeção, observou-se uma tendência no aumento da geração do pó do coletor nos altos-fornos como ilustrado na Figura 6. Esse aumento pode estar associado à não combustão do carvão pulverizado na zona de combustão<sup>(4)</sup> em que as partículas não queimadas podem estar sendo arrastadas para o topo do alto-forno e retiradas no coletor de pó. A análise da regressão mostrou que a variável resposta “geração de pó do coletor” é explicada pela variável explicativa “taxa de injeção de carvão pulverizado” com nível de confiança de  $68\%$  e  $80\%$  para os altos-fornos 1 e 2 respectivamente.

A liberação do gás hidrogênio na zona de combustão bem como o aumento do tempo de residência da carga metálica no interior do alto-forno proporcionam um melhor aproveitamento dos gases redutores que refletem diretamente no rendimento gasoso, dado pela divisão da fração mássica de gás CO pela soma da fração mássica dos gases CO e CO<sub>2</sub> coletadas no topo do alto-forno. Pela análise da Figura 7 foi determinado os coeficientes de correlação  $R^2$  concluindo que a variável resposta “rendimento gasoso” é explicado pela variável explicativa “taxa de injeção” com nível de confiança de  $87\%$  para o alto-forno 1 e  $68\%$  para o alto-forno 2 evidenciando através de dados práticos um melhor aproveitamento dos gases redutores com o aumento da taxa de injeção.

Com a melhor distribuição do tempo médio de injeção por ventaneira, melhor qualidade granulométrica e química do carvão vegetal, injeção com dupla lança e conhecimento adquirido com os projetos de pesquisa e desenvolvimento foi possível elevar a taxa de injeção média nos altos-fornos da V&M do Brasil

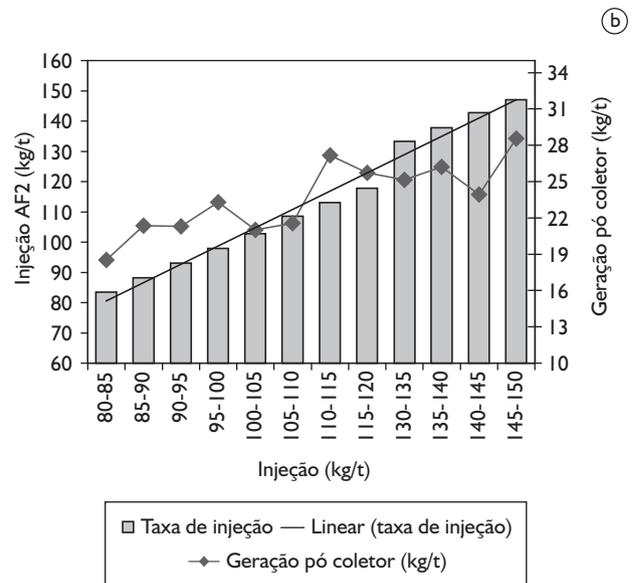
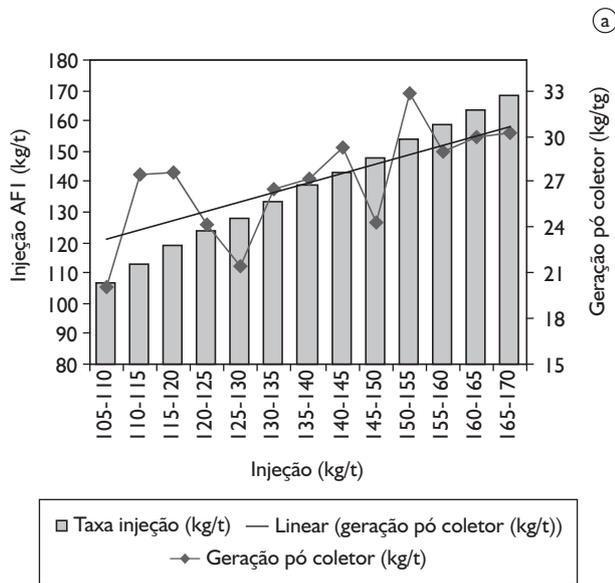


Figura 6. Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e a geração de pó no coletor no alto-forno 1 6(a) e alto-forno 2 6(b).

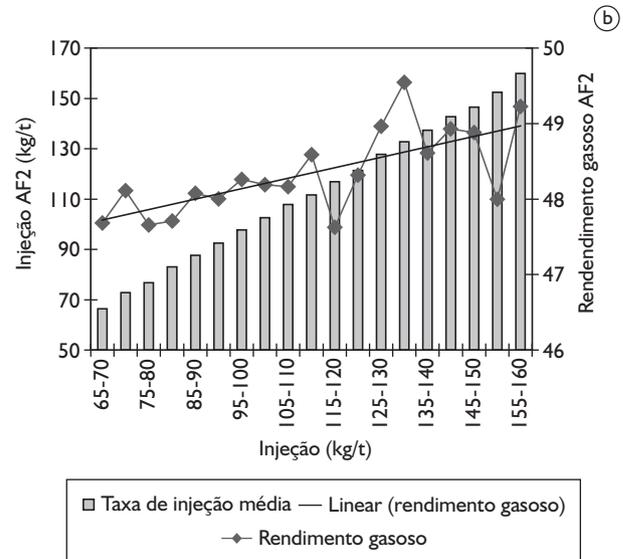
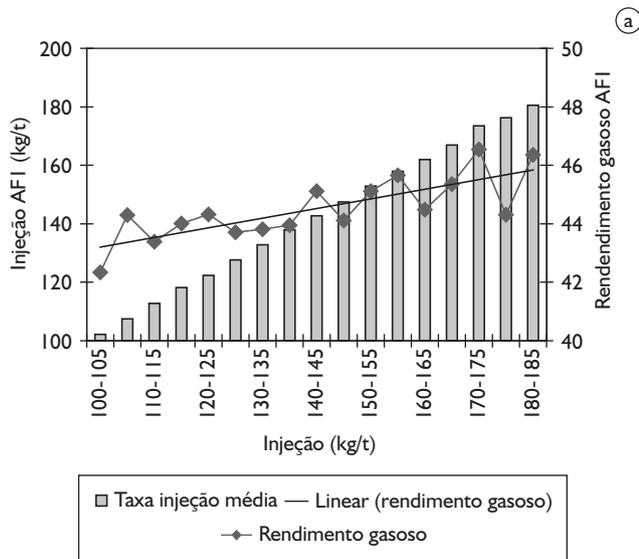


Figura 7. Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e o rendimento gasoso no alto-forno 1 7(a) e alto-forno 2 7(b).

em 50 kg/t com conseqüente redução do consumo de carvão de topo. Os resultados de taxa de injeção e consumo de carvão de topo média alto-forno 1 e 2 obtidos em cada etapa do projeto estão ilustradas na Figura 8.

#### 4 CONCLUSÕES

1. Com a implantação de projetos de investimentos e projetos de pesquisa e desenvolvimento foi possível aumentar as taxas de injeção nos altos-fornos da V&M do Brasil com conseqüente redução do consumo de carvão de topo para taxas de injeção de até 200 kg/t no alto-forno 1 e 160 Kg/t no alto-forno 2.

2. O novo sistema de injeção do alto-forno 1 permitiu uma melhor distribuição do carvão pulverizado injetado por ventaneira, garantindo um melhor fluxo de gases e calor no interior do alto-forno.

3. A Moagem 3 permitiu à V&M ser auto-suficiente na produção de carvão pulverizado contribuindo também com a produção de um carvão pulverizado de melhor qualidade com menor teor de contaminantes.

4. Com o projeto de peneiramento de carvão em Paraopeba foi possível a utilização de carvão com melhor qualidade granulométrica e química.

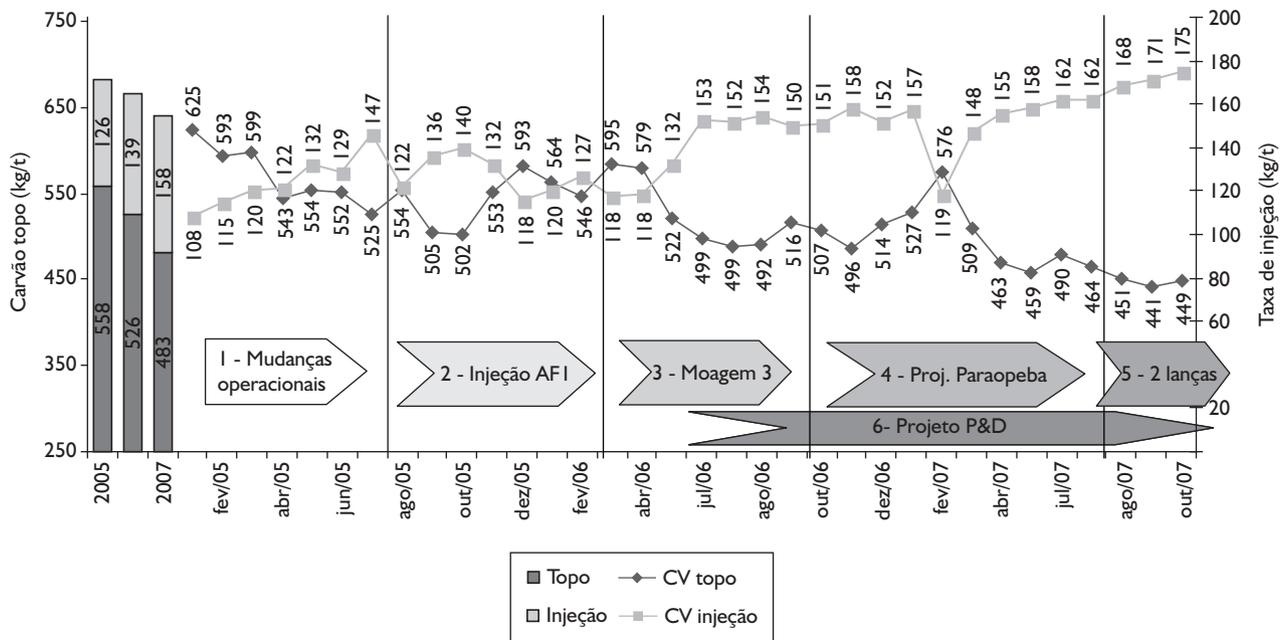


Figura 8. Evolução da taxa de injeção de carvão pulverizado e consumo de carvão de topo média alto-forno I e 2.

5. O projeto de pesquisa e desenvolvimento<sup>(3)</sup> foi de fundamental importância na aquisição de conhecimento técnico que auxiliaram nas tomadas de decisão para implantação de projetos de investimento e na avaliação de processo.

### Agradecimentos

Aos funcionários do departamento de produção de ferro gusa. “Este trabalho não seria possível e não teria seus resultados alcançados sem o comprometimento de todos os funcionários do departamento de produção de ferro gusa da V&M do Brasil que fizeram ser possível”.

Ao Vamberto Ferreira pelo apoio no início do trabalho.

Ao Consultor da V&M do Brasil Ronaldo Santos Sampaio pelo apoio técnico durante o projeto.

À gerência de matérias primas da V&M do Brasil.

À gerência de manutenção siderurgia da V&M do Brasil.

### REFERÊNCIAS

- 1 NOLASCO SOBRINHO, P.J. **Comportamento de diferentes materiais injetados através das ventaneiras dos altos-fornos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Metalurgia) Rede Temática em Engenharia de Materiais – Escola de Minas, Ouro Preto, 1998.
- 2 CUSTÓDIO, B.; BOTELHO, L.; CRUZ, J.G.; VILELA, J.; SAMPAIO, R.S. Estudo termoquímico de trocadores de calor tipo glendon. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 37., 2007, Salvador, BA. **Anais...** São Paulo: ABM, 2006. p. 241-8.
- 3 OLIVEIRA, R.P.; ASSIS, P.S.; MANETTA, H.R.; DINIZ, F.E.; COSTA, B.C. Determinação da combustão de carvão vegetal pulverizado em um simulador de injeção para aumento da taxa de injeção nos altos-fornos da V&M do Brasil. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 37, 2007, Salvador, BA. **Anais...** São Paulo: ABM, 2007. p. 56
- 4 ATKINSON, C.J.; WILLMERS, R.R. Blast furnace coal injection studies using a single tuyere raceway investigation rig. In: FUEL PROCESSING TECHNOLOGY CONGRESS, 24, 1990. Amsterdam: Elsevier, 1990. p. 107-15.

Recebido em: 14/12/07

Aceito em: 31/10/08

Proveniente de: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 28., 2007, Vitória, ES. São Paulo: ABM, 2007.