

EVOLUÇÃO DA OPERAÇÃO DO ALTO-FORNO “A” DA ARCELORMITTAL MONLEVADE COM ELEVADA PARTICIPAÇÃO DE “SMALL COKE” NA CARGA REDUTORA

Fabiano Cristeli de Andrade ¹
 Rodrigo Junqueira dos Santos ²
 Wander Borges de Oliveira ³

Resumo

Este trabalho apresenta o histórico das ações realizadas pela ArcelorMittal Monlevade que propiciaram ao alto-forno A atingir o recorde nacional de utilização de *small coque* na carga redutora em 2007 e, em paralelo, reduzir o consumo total de coque metalúrgico, atingindo um dos melhores valores da siderurgia nacional. A metodologia empregada é uma análise dos primeiros anos de operação do Alto-forno A, com baixa utilização de *small coke* na carga redutora, o balanço de coque + *small coke* na usina de Monlevade e as ações de controle de processo implementadas ao longo do tempo. Os resultados alcançados foram um maior consumo de *small coque* na carga, uma redução do consumo de coque metalúrgico grosso, um maior estabilidade operacional do Alto-forno A que refletiu em aumento da produtividade e redução do *coke rate* do Alto-forno A nos últimos anos.

Palavras-chave: *Small coke*; *Coke rate*; Produtividade; Alto-forno.

EVOLUTION OF WORKING RESULTS OF THE BLAST FURNACE “A” OF THE ARCELORMITTAL MONLEVADE WITH HIGH LEVEL OF SMALL COKE IN THE FUEL RATE

Abstract

This paper presents the history of actions taken by ArcelorMittal Monlevade that contributed to the blast furnace A reaching the national record of use of small coke in the fuel rate in 2008. In parallel, the reduction of the total consumption of metallurgical coke has achieved one of the best values in the national steel industry. This study was evaluated using an analysis of the beginning of operations of the blast furnace A, using low level of small coke in the fuel rate, associated with a coke + small coke balance in the Monlevade plant and with the actions of the control process developed over the time. The results showed a higher consumption of small coke in the charge, decreasing consumption of a coarse metallurgical coke and a better working stability of the blast furnace A. These results lead in productivity increasing and reducing the coke rate of the blast furnace A in the recent years.

Key words: Small coke; Coke rate; Productivity; Blast furnace.

I INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, o coque tem sido uma matéria-prima de extrema importância para o processo de produção de ferro gusa em altos-fornos. O coque impacta fortemente a estabilidade da marcha do alto-forno, afetando diretamente a permeabilidade do leito da carga aos gases e líquidos, podendo contribuir positiva ou negativamente para a produtividade e consumo total de combus-

tíveis. Além disso, ao longo das últimas décadas, o coque tem se tornado o componente de maior impacto no custo final de produção de ferro gusa nas usinas integradas.

Desde o *start-up* do Alto-forno A (AF-A), em dezembro de 1999, foram realizadas várias ações pela equipe de processo e operação da área de Redução da ArcelorMittal Monlevade,

¹Mestre em Engenharia Metalúrgica, Gerente de Área de Produção de Gusa, ArcelorMittal Monlevade.

Av. Getúlio Vargas, 100, Cep 35930-395, João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: fabiano.cristeli@arcelormittal.com.br

²Mestre em Engenharia Metalúrgica, Gerente de Redução e Aciaria, ArcelorMittal Monlevade.

Av. Getúlio Vargas, 100, Cep 35930-395, João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: rodrigo.junqueira@arcelormittal.com.br

³Bacharel em Engenharia Metalúrgica, Especialista de Processo de Fabricação de Gusa, ArcelorMittal Monlevade.

Av. Getúlio Vargas, 100, Cep 35930-395, João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: wander.borges@arcelormittal.com.br

que propiciaram o AF-A atingir o recorde nacional de utilização de *small coke* na carga redutora em 2007 e, em paralelo, reduzir o consumo total de coque metalúrgico, atingindo um dos melhores valores da siderurgia nacional.

Este trabalho mostra uma análise dos primeiros anos de operação do AF-A com baixa utilização de *small coke* na carga redutora, o balanço de coque + *small coke* na usina de Monlevade e as ações de controle de processo implementadas ao longo do tempo.

Com um maior consumo de *small coke* na carga, foi possível maior estabilidade operacional do Alto-forno A que refletiu em aumento da produtividade e redução do *coke rate* a partir de 2004, conforme pode ser visto na Figura 1.

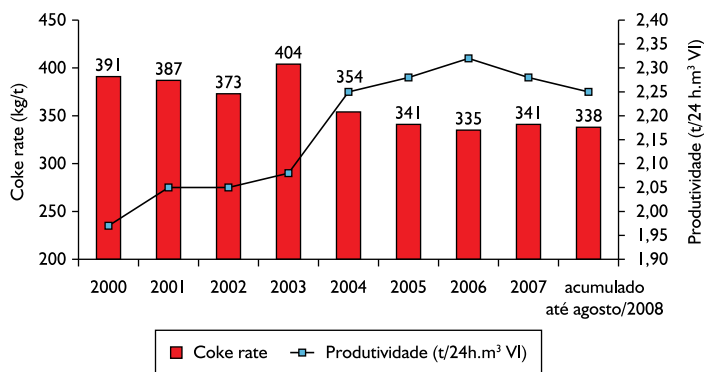


Figura 1. Evolução da produtividade (volume interno) e *coke rate* do AF-A.

2 HISTÓRICO, TEORIA E DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico do Fornecimento de Coque para o Alto-Forno A

Em Monlevade, a história da redução de minério de ferro em altos-fornos iniciou-se em 1937 com a entrada em marcha do Alto-Forno I (AF-I). Outros quatro altos-fornos foram erguidos até o início dos anos 90 e, assim como o AF-I, todos operando com carvão vegetal. Paralelamente, foram realizados estudos de viabilidade para a construção de um alto-forno a coque, maior e mais moderno, que suprisse a demanda de gusa em Monlevade que se projetava para os anos seguintes. Em dezembro de 1999 entrou em operação o Alto-Forno A (AF-A), a coque, e com injeção de carvão mineral pulverizado, em substituição aos cinco fornos a carvão vegetal. O AF-A tem uma capacidade nominal de produção de 1.040.000 t/ano com volume interno de 1.357 m³. Com a decisão de se construir um alto-forno a coque verificou-se, na época, que o fornecimento de coque seria inicialmente externo, uma vez que Monlevade não possuía coqueria. A Figura 2 lustra a média de participação dos fornecedores de coque utilizados no AF-A de 2002 a 2007.

Como o coque importado sofria uma alta degradação devido ao grande manuseio desde a sua origem até a chegada na usina de Monlevade, a geração de *small coke* era alta e o tamanho médio do coque metalúrgico era baixo. As fotos da Figura 3 mostram etapas desse processo.

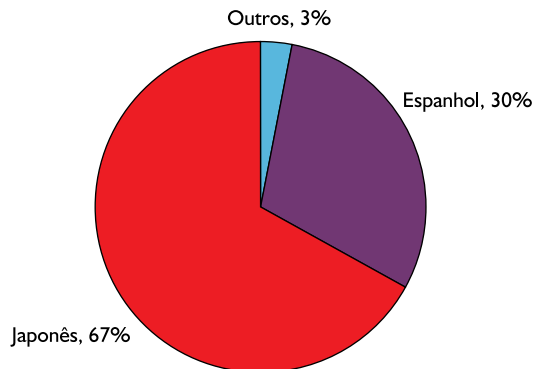


Figura 2. Proporção do consumo de coque externo no AF-A de 2002 a 2007.

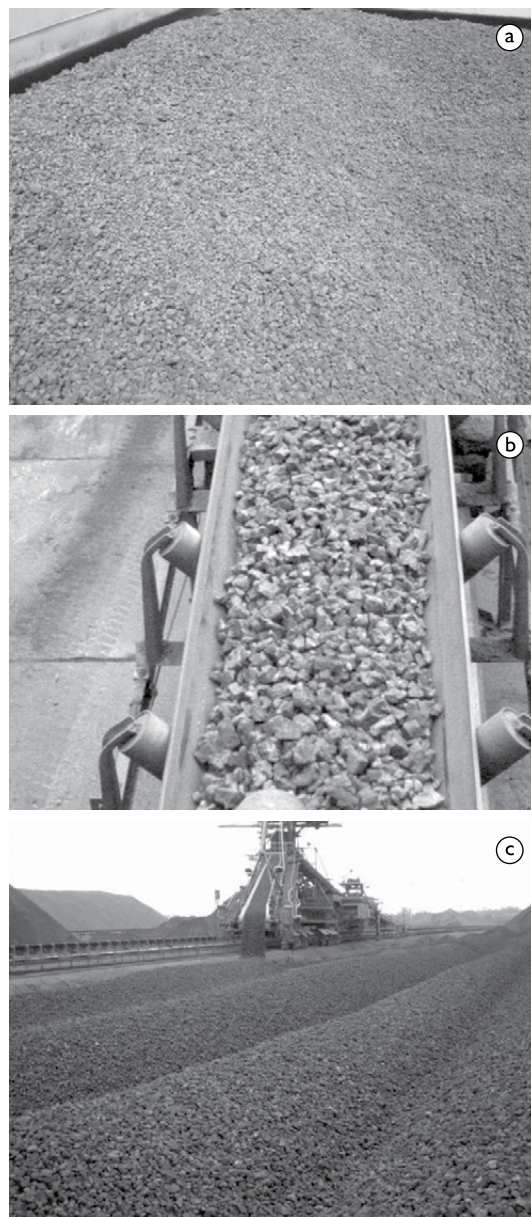


Figura 3. a) coque no porão do navio; b e c) transporte e empilhamento no porto.

Para se tornar independente do fornecimento de coque importado e aumentar a qualidade desse importante insumo no AF-A, a ArcelorMittal Monlevade (AMM) decidiu construir uma coqueria em Vitória, próxima à planta da ArcelorMittal Tubarão (AMT), em parceria com essa unidade. A SOL Coqueria entrou em operação em março de 2007, utilizando a tecnologia *heat recovery*, com o objetivo de fornecer cerca de 550.000 t de coque metalúrgico para Monlevade. Na Tabela 1 pode-se verificar a comparação do efeito da degradação do coque devido o manuseio em um navio de coque japonês, comparado ao coque da SOL.

Tabela 1. Degradação do coque japonês e do coque Sol da origem até a usina

Fração do coque	Coque Japonês (origem)	Coque Japonês (usina)	Coque SOL (origem)	Coque SOL (usina)
% > 30 mm	97	85	93	88
% < 30 mm	3	15	7	12
TM mm	54	41	51	49

Vale destacar que, atualmente, todo o coque recebido em Monlevade é peneirado e dividido em três frações antes do consumo no alto-forno:

- > 30 mm: coque metalúrgico;
- < 30 mm e > 10 mm: *small coke*; e
- < 10 mm: coque *breeze*.

As duas primeiras frações são consumidas no AF-A, enquanto a última é direcionada para a sinterização.

2.2 A Função do Coque no Processo do Alto-forno

O coque apresenta um importante papel aerodinâmico no alto-forno. Por se tratar de um reator em contra corrente gás/líquido e sólido é necessária uma permeabilidade suficiente à passagem desses fluidos. Segundo Gudenau *et al.*,⁽¹⁾ uma permeabilidade inadequada pode levar à ocorrência de dois fenômenos: o engaiolamento e a elevação do nível de líquidos no cadinho até a rampa (*flooding*), o que compromete a produtividade, a eficiência do consumo de combustível e a vida útil do reator.

A granulometria final do coque é proporcional à inicial, considerando-se as propriedades físicas e metalúrgicas constantes. Além disso, o tamanho médio do coque diminui durante sua descida dentro do forno, conforme apresentado na Figura 4.

Segundo Fujihara *et al.*,⁽²⁾ a qualidade do coque no cadinho é uma questão especial. O desgaste do refratário do cadinho pela exposição ao fluxo periférico de gusa ao longo de sua parede poderá ser afetado pela qualidade do coque: quanto menor a fração de vazios do leito de coque, mais forte será o fluxo periférico. Considera-se que o coque carregado no centro do forno é aquele que chega ao cadinho. A grande maioria das empresas tem se empenhado para carregar o coque grosso e resistente no centro do alto-forno, numa tentativa de se manter uma boa permeabilidade do homem morto.

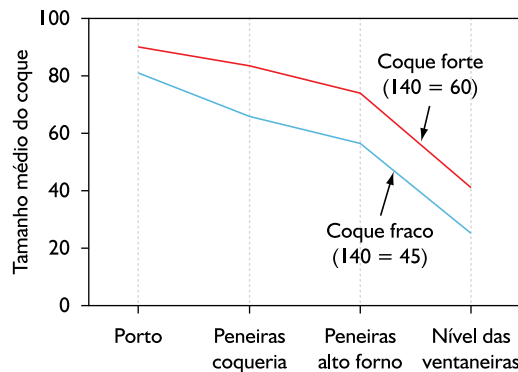


Figura 4. Degradação do coque do porto até as ventaneiras.⁽³⁾

Como comentado anteriormente, o enformamento de coque no alto-forno A se dá em função da granulometria. O coque metalúrgico ou coque grosso é o coque responsável por garantir a permeabilidade da coluna de carga e do cadinho, e de gerar calor através da combustão nas ventaneiras. Por outro lado, o *small coke* é carregado junto com a carga metálica, próximo à parede do alto-forno, visando otimizar a redução da carga metálica e preservar o coque grosso das reações de degradação para o cadinho.

2.3 O Desenvolvimento do Controle de Processo no Alto-forno A

Durante os dois primeiros anos de operação, o AF-A utilizava porcentagem de coque na parede (faixa de 50 cm de largura a partir da parede) em torno de 36% visando reduzir as perdas térmicas. Os efeitos observados na época foram:

- várias paradas para troca de ventaneiras devido a empeno;
- descida irregular da carga próximo à parede;
- engaiolamentos frequentes com picos de temperaturas dos *staves*; e
- descontinuidade operacional.

Após assistência técnica de empresa especializada do grupo ArcelorMittal, o percentual de coque próximo à parede foi aumentado para cerca de 43%, com o objetivo de elevar a raiz da Zona Coesiva dentro do forno e proteger as ventaneiras. Em um primeiro momento, a mudança de filosofia resolveu grande parte dos problemas, principalmente aqueles ligados a empeno de ventaneiras e picos de perdas térmicas.

Por outro lado, o percentual de coque no centro foi reduzido de 86% para cerca de 80% (região central do forno com 50 cm de raio), o que levou a uma piora da permeabilidade do forno. Somava-se a essa situação o fato do coque consumido apresentar uma granulometria, ruim devido a sua condição de manuseio desde a origem.

Com menos coque central, houve uma piora da permeabilidade do AF-A, o que passou a limitar a produtividade e a redução do *coque rate* a partir de 2003. A solução considerada pela equipe técnica da ArcelorMittal Monlevade foi aumentar a abertura da malha de peneiramento do coque metalúrgico na Estação de Peneiramento, passando a abertura de 25 mm para 38 mm, aumentando o tamanho médio do coque metalúrgico enforado e melhorando a permeabilidade da carga e do cadinho do forno.

A malha inferior de peneiramento permaneceu em 10 mm, e todo coque *breeze* continuou sendo direcionado para a sinterização. Com essa alteração na malha de peneiramento do coque metalúrgico, a geração de *small coke*, que já era razoável, aumentou ainda mais, comprometendo o balanço de coque na usina.

A solução encontrada foi aumentar o consumo do *small coke*. Esse material é enforado junto com a carga metálica, sendo descarregado próximo à parede do forno. Além de melhorar a condição de redução da carga metálica, esse *small coke* também garante certa permeabilidade na zona seca do alto-forno uma vez que seu tamanho médio é superior ao do sinter e do minério granulado. Com essa elevação do consumo de *small coke*, pode-se dizer que o coque do centro passou a ser mais preservado no interior do forno, garantindo uma adequada permeabilidade da coluna de carga e do cadinho do AF-A.

Como resultado de todas essas ações, a partir de 2004, o *coke rate* foi reduzido para valores entre 330 kg/t e 340 kg/t, a produtividade elevada para valores acima de 2,25 t/dia/m³ no volume interno conforme pode ser visto na Figura 1, com a descida de cargas bem mais estável próximo a parede do forno. O padrão de operação praticado atualmente na usina de Monlevade é um mínimo de 40% de coque na parede, um mínimo de 70% de coque no centro e um mínimo de 75 kg/t de *small coke rate*.

3 RESULTADOS

Os gráficos das Figuras 5 a 11 mostram outros resultados alcançados até o segundo quadrimestre de 2008, período em que o AF-A ainda não havia sido afetado pela recente crise econômica mundial. A Figura 5 mostra a mudança na filosofia de distribuição de cargas a partir de 2002.

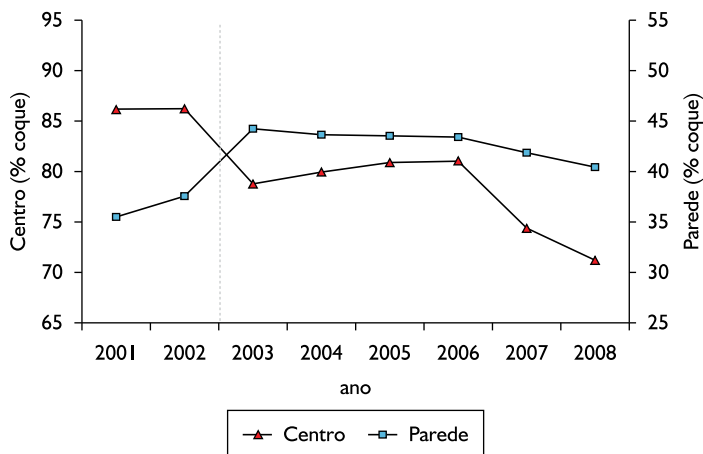


Figura 5. Distribuição de cargas com alteração da % de coque na parede e no centro do AF-A.

A Figura 6 mostra a frequência de queima e empeno de ventaneiras entre 2000 e 2008.

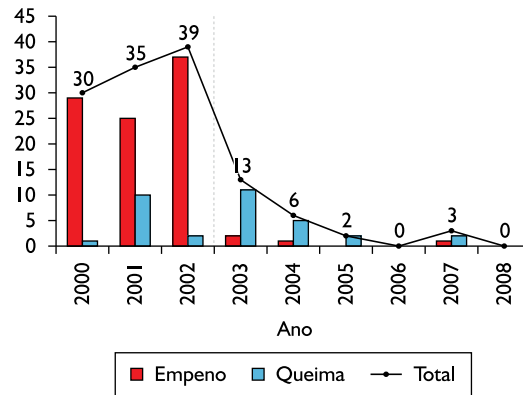


Figura 6. Redução do número de empenos e queima de ventaneiras.

A Figura 7 mostra a redução da frequência de engaiolamento do AF-A, evidenciando o efeito benéfico na descida de carga com aumento do *small coke* na carga metálica próximo à parede do forno e o aumento do tamanho médio do coque metalúrgico enforado.

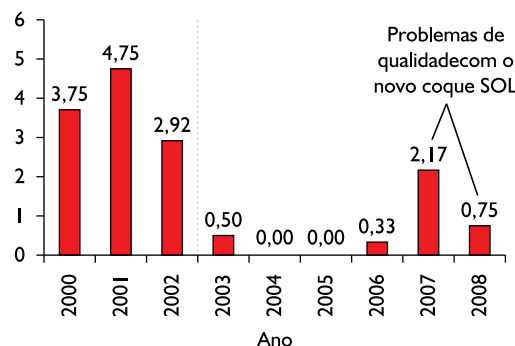


Figura 7. Redução do número de empenos e queima de ventaneiras.

A Figura 8 mostra a evolução do *small coke rate* nos últimos anos, necessário para fechar o balanço de coque na usina de Monlevade, após a elevação da abertura da malha de peneiramento de coque metalúrgico na Estação de Peneiramento.

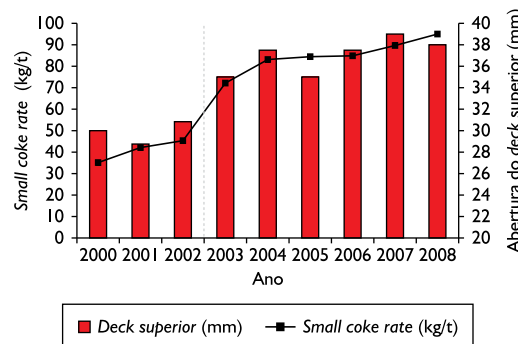


Figura 8. Abertura da malha da peneira de coque na usina de Monlevade.

A Figura 9 mostra a evolução do *small coke rate* e do *coke rate* grosso nos últimos anos no AF-A, este último atingindo valores próximos a 240 kg/t com a redução do *coke rate* total, como verificado na Figura 1.

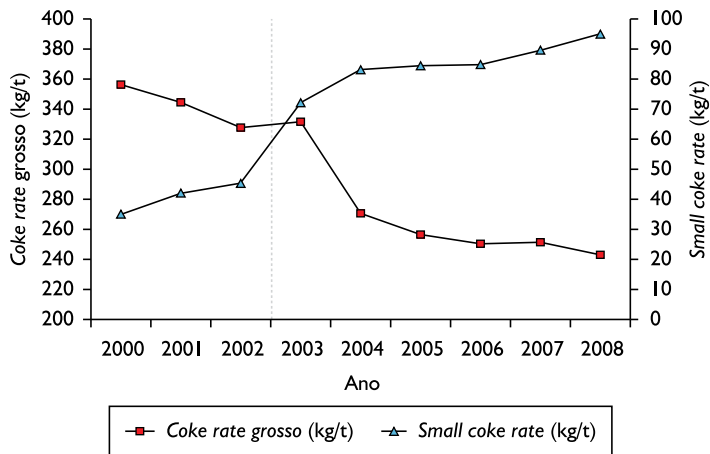


Figura 9. Redução do coque metalúrgico no AF-A.

A mudança de filosofia de distribuição de cargas e ações de controle de processo na usina de Monlevade permitiram ao AF-A tornar-se *benchmark* nacional na utilização de *small coke rate* e *coke rate* grosso. As Figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, esses dados comparativos no ano de 2007.

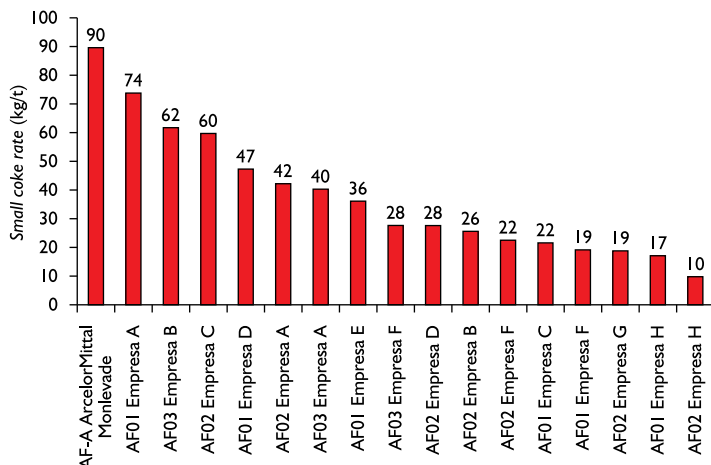


Figura 10. AF-A benchmark nacional em *small coke rate* em 2007 (fonte: Dados do Encontro de Especialistas da Área de Redução).

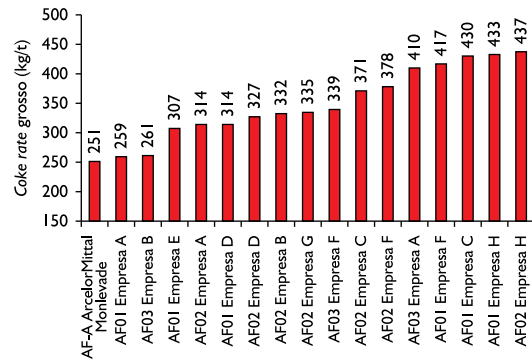


Figura 11. AF-A benchmark nacional em *coke rate* grosso em 2007 (fonte: Dados do Encontro de Especialistas da Área de Redução).

4 CONCLUSÃO

Do exposto conclui-se:

- as alterações realizadas nos últimos anos têm permitido ao AF-A atingir posição de destaque na siderurgia nacional em termos de consumo de *small coque* e coque metalúrgico grosso;
- a estabilidade do processo do AF-A foi alcançada, em grande parte, em função da filosofia atual de distribuição de cargas:
 - mínimo de 40% de coque na parede;
 - mínimo de 70% de coque no centro;
 - mínimo de 75 kg/t de *small coke rate*;
- o controle da malha de peneiramento de coque é de fundamental importância para o balanço de coque na usina e para o processo do alto-forno A; e
- com a utilização de alta participação de *small coke* na carga, pode-se afirmar que o coque do centro é mais preservado no interior do forno, garantindo uma adequada permeabilidade da coluna de carga e refletindo em redução de *coke rate* e aumento de produtividade no AF-A.

REFERÊNCIAS

- 1 GUDENAU, H. W. et al. Effect of coke reactivity and nut coke on blast furnace operation. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 36, n. 3, p. 222-9, 2009.
- 2 FUJIHARA, F. K. et al. Coke consumption philosophy at ArcelorMittal Tubarão blast furnaces. In: IAS IRONMAKING CONFERENCE, 6, 2007, Rosario, Argentina. Buenos Aires: IAS, 2007. p. 273-80.
- 3 GEERDES, M. et al. *Práticas modernas para operação de alto-fornos*. Belo Horizonte: Danieli Corus, 2008.

Recebido em: 20/12/2009

Aprovado em: 21/10/2010