

# EVOLUÇÃO DA OPERAÇÃO DO ALTO-FORNO “A” DA ARCELORMITTAL MONLEVADE COM ELEVADA PARTICIPAÇÃO DE *SMALL COKE* NA CARGA REDUTORA<sup>1</sup>

*Fabiano Cristeli de Andrade<sup>2</sup>  
Rodrigo Junqueira dos Santos<sup>2</sup>  
Wander Borges de Oliveira<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho apresenta o histórico das ações realizadas pela ArcelorMittal Monlevade que propiciaram o alto-forno A (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 brasileira. A metodologia empregada é uma análise de processo 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 que levaram a uma alta utilização de *small coke* na carga redutora. Os resultados alcançados foram uma maior participação de *small coke* na carga, uma redução do consumo de coque metalúrgico grosso, uma maior estabilidade operacional do AF-A que refletiu em aumento da produtividade e redução do consumo específico de coque nos últimos anos.

**Palavras-chave:** *Small coke*; *Coke rate*; Produtividade; Altos fornos.

## **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 shows the actions taken by ArcelorMittal Monlevade that contributed for blast furnace A reaching the brazilian record of use of small coke in 2007. In parallel, the total consumption of metallurgical coke has achieved one of the lowest values in the brazilian steel industry. This study was carried out 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 process control developed over the time. that lead the high level of small coke in the blast furnace A. The results showed a higher participation of small coke in the charge, decreasing the consumption of metallurgical coke and a better operational stability of the blast furnace A. These results lead to a increased productivity and to a lower coke rate in the recent years.

**Palavras-chave:** Small coke; Coke rate; Productivity; Blast furnace.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

<sup>2</sup> *Área de redução da ArcelorMittal Monlevade, João Monlevade – MG.*

# 1 INTRODUÇÃO

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 para a produtividade e consumo total de redutores. 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 várias ações foram realizadas pela equipe de processo e operação da Área de Redução da ArcelorMittal Monlevade, que propiciaram ao 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.

A metodologia empregada é uma análise de processo dos primeiros anos de operação do AF-A, o balanço de coque + *small coke* na usina de Monlevade e as ações de controle de processo implementadas ao longo do tempo que levaram a uma alta utilização de *small coke* na carga redutora.

Os resultados alcançados foram uma maior participação de *small coke* na carga, uma redução do consumo de coque metalúrgico grosso, uma maior estabilidade operacional do alto-forno A o que refletiu em aumento da produtividade e redução do *coke rate* a partir de 2004, conforme pode ser visto na Figura 1.

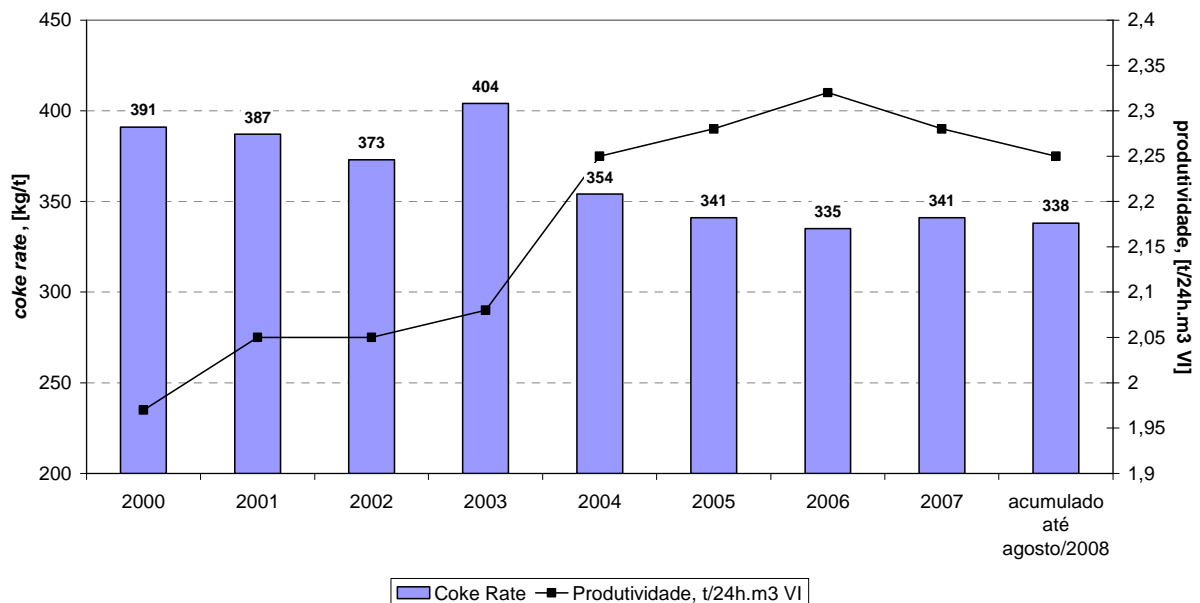


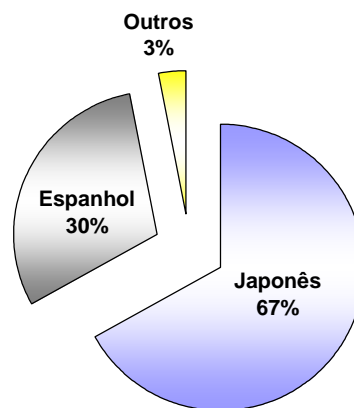
Figura 1. Evolução da produtividade (volume interno) e *coke rate* do AF-A

## 2 HISTÓRICO, TEORIA E DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Histórico do Fornecimento de Coque para o Alto-forno A

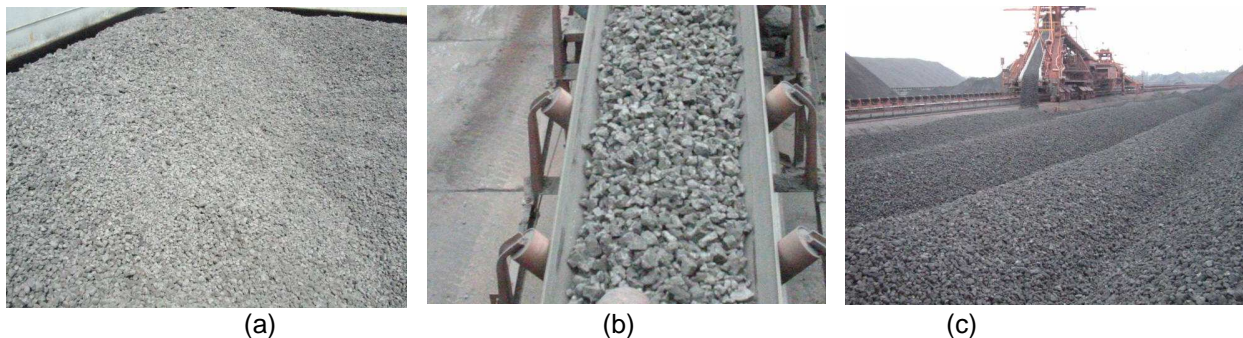
Em Monlevade, a história da redução de minério de ferro em altos-fornos iniciou-se em 1937 com a entrada em marcha do alto-forno 1 (AF-1). Outros quatro altos-fornos foram erguidos posteriormente e, assim como o AF-1, todos operando com carvão vegetal. Já na década de 90, foram realizados estudos de 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, a coque e com injeção de carvão mineral pulverizado, em substituição aos cinco altos-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 m<sup>3</sup>. Com a decisão de se construir um alto-forno a coque definiu-se na época, que o fornecimento de coque seria inicialmente externo, uma vez que Monlevade não possuía coqueria. A Figura 2 ilustra a participação dos fornecedores de coque utilizados no AF-A (média de 2002 a 2007).



**Figura 2.** Procedência do coque consumido 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 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) junto com a ArcelorMittal Tubarão (AMT) decidiram construir uma coqueria em Vitória, próxima à planta da AMT. A SOL Coqueria Tubarão 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 e o restante para Tubarão.

Vale destacar que, atualmente, todo o coque recebido em Monlevade é peneirado e dividido em 3 frações antes do consumo no alto-forno. As duas primeiras frações são consumidas no alto-forno enquanto a última é direcionada para a sinterização.

- > 30mm → coque metalúrgico
- < 30 e > 10 mm → *small coke*
- < 10 mm → *coke breeze*

## 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 necessário uma permeabilidade suficiente à passagem desses fluidos. Uma permeabilidade inadequada pode levar a ocorrência de dois fenômenos, o engaiolamento e a elevação do nível de líquidos no cadinho até a rampa (*flooding*) e comprometer o limite de 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, conforme apresentado na Figura 4. As propriedades físicas 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 em carregar o coque grosso e resistente no centro do alto-forno, numa tentativa de se manter uma boa permeabilidade do homem morto.

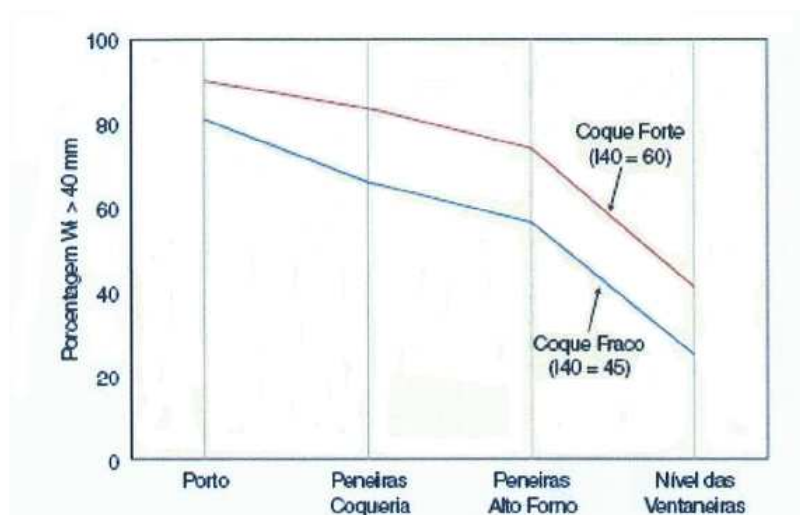


Figura 4. Degradação do coque do porto até as ventaneiras.<sup>(1)</sup>

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, além de gerar calor através da combustão nas ventaneiras é carregado separado das outras matérias-primas. 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.

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

Durante os dois primeiros anos de operação, no AF-A utilizava-se uma porcentagem de coque na parede (faixa de 50 cm de largura a partir da parede) em torno de 36% visando manter as perdas térmicas em níveis mais baixos. Os efeitos observados na época foram:

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

Após discussões técnicas com a ArcelorMittal Tubarão, 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 esta situação o fato do coque consumido apresentar uma granulometria ruim devido à 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 *coke 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 assim, o tamanho médio do coque metalúrgico enornado e melhorando a permeabilidade da carga e do cadinho do forno. Com essa ação, foi possível atingir uma porcentagem de coque central próximo a 70% nos últimos anos sem comprometer a operação do AF-A

A malha inferior de peneiramento permaneceu em 10 mm, e todo *coke 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.

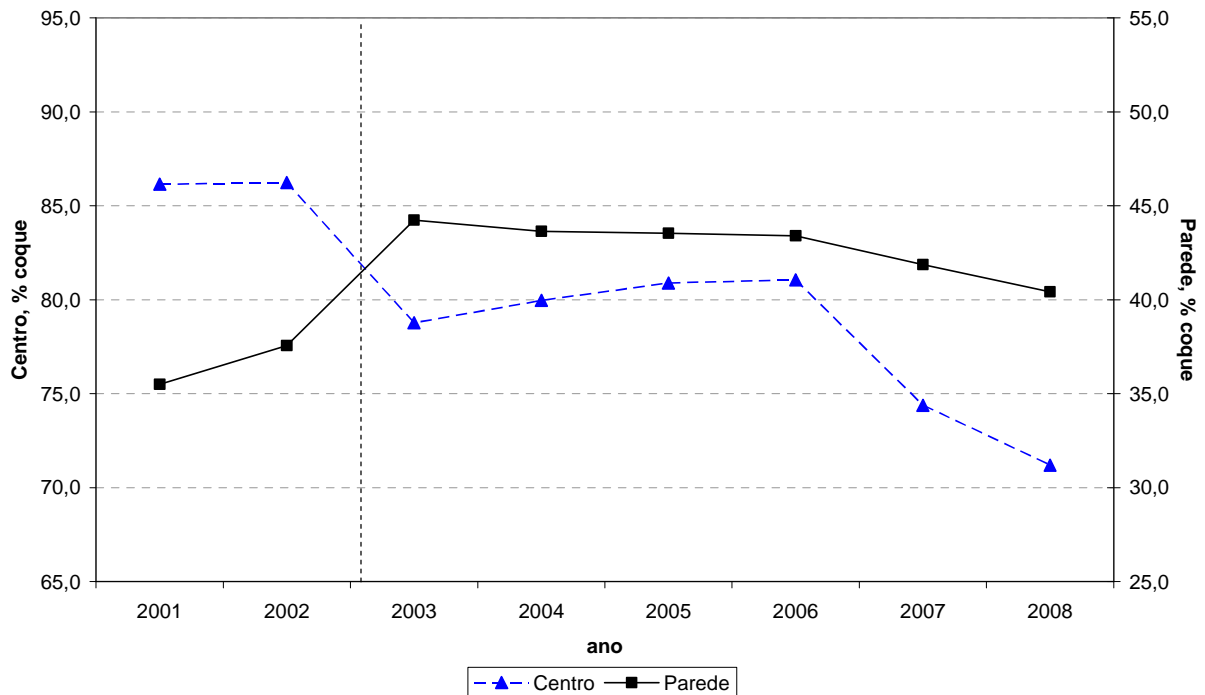
A solução encontrada foi aumentar o consumo do *small coke*. Este material é enornado junto com a carga metálica, sendo descarregado próximo à parede do forno. Além de melhorar a condição de redução da carga metálica, esse *small coke* também garante boa permeabilidade na zona seca do alto-forno uma 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 assim, 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, e a produtividade elevada para valores acima de 2,25 t/dia/m<sup>3</sup> volume interno conforme pode ser visto na Figura 1, com a descida de cargas bem mais estável próximo à 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 75kg/t de *small coke rate*.

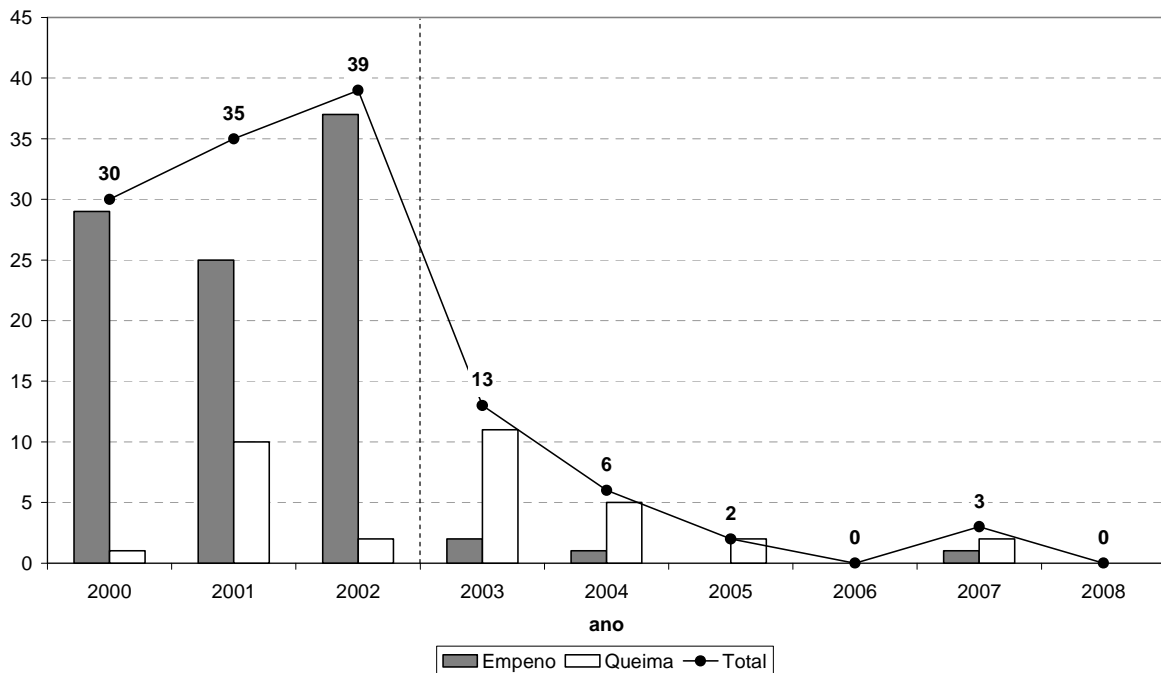
### 3 RESULTADOS

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



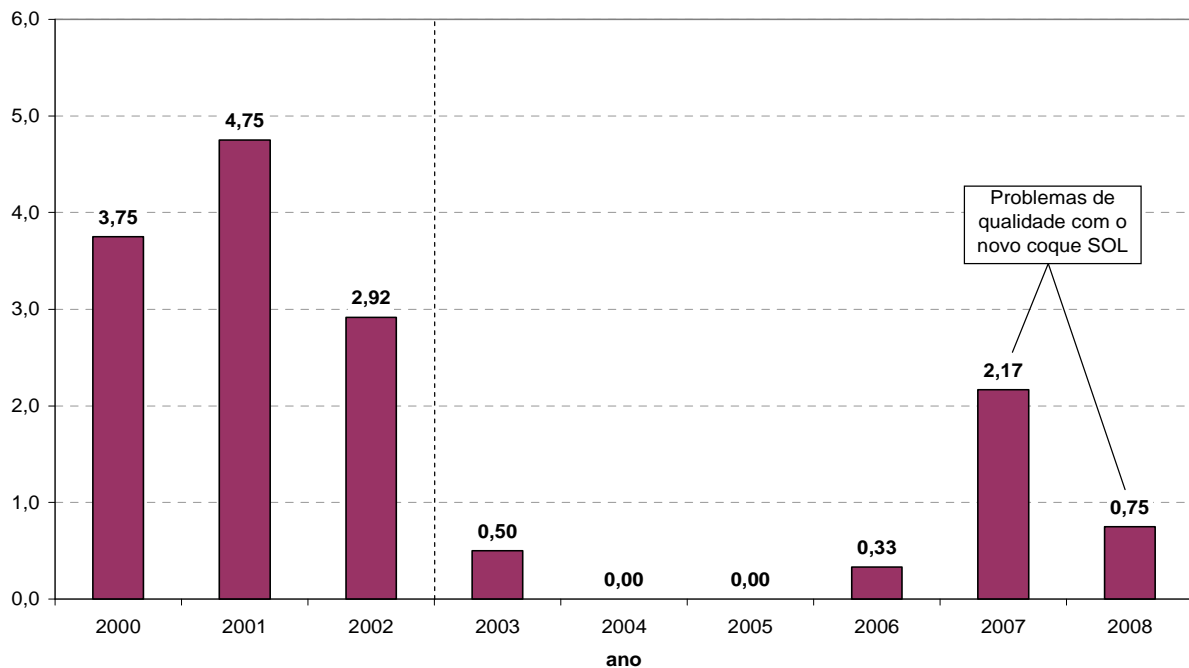
**Figura 5.** Distribuição de cargas com alteração da % de coque na parede e no centro do AF-A.

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 engaiolamentos no AF-A, mostrando o efeito benéfico na descida de carga com aumento do *small coke* na carga metálica próximo à parede do forno e aumento do tamanho médio do coque metalúrgico enforado.



**Figura 7.** Redução da frequência de engaiolamentos.

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 o aumento da

abertura da malha de peneiramento de coque metalúrgico na Estação de Peneiramento.

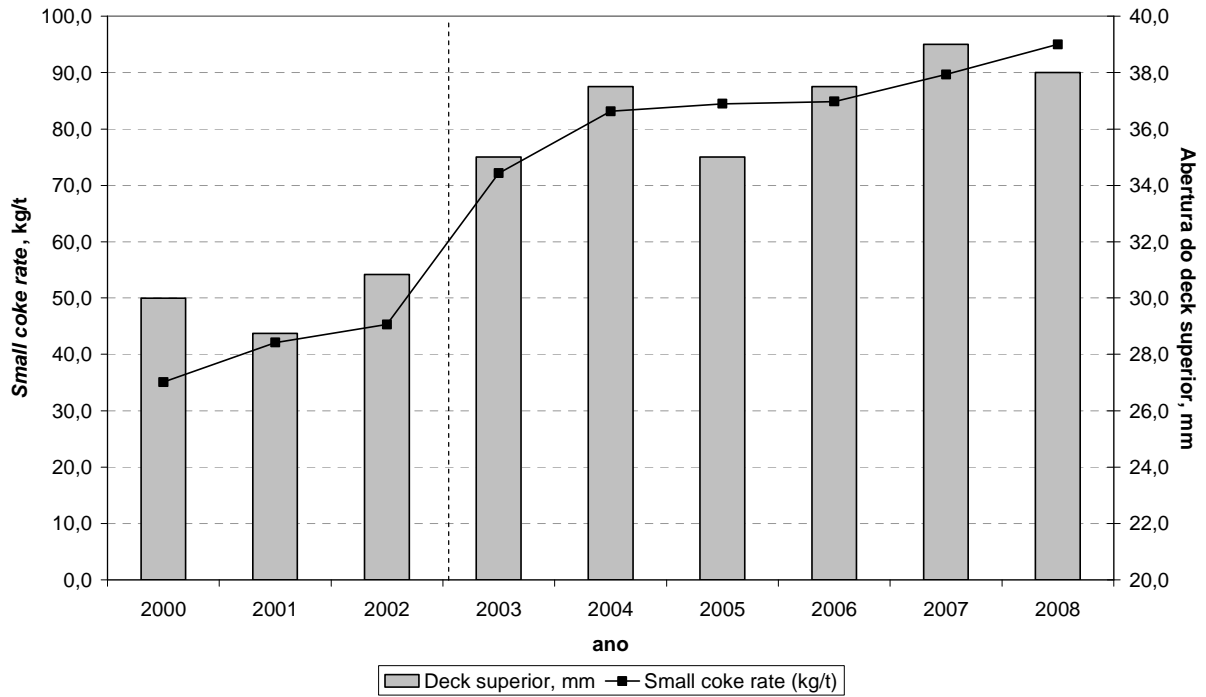


Figura 8. Abertura da malha da peneira de coque na usina de Monlevade.

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 já apresentada na Figura 1.

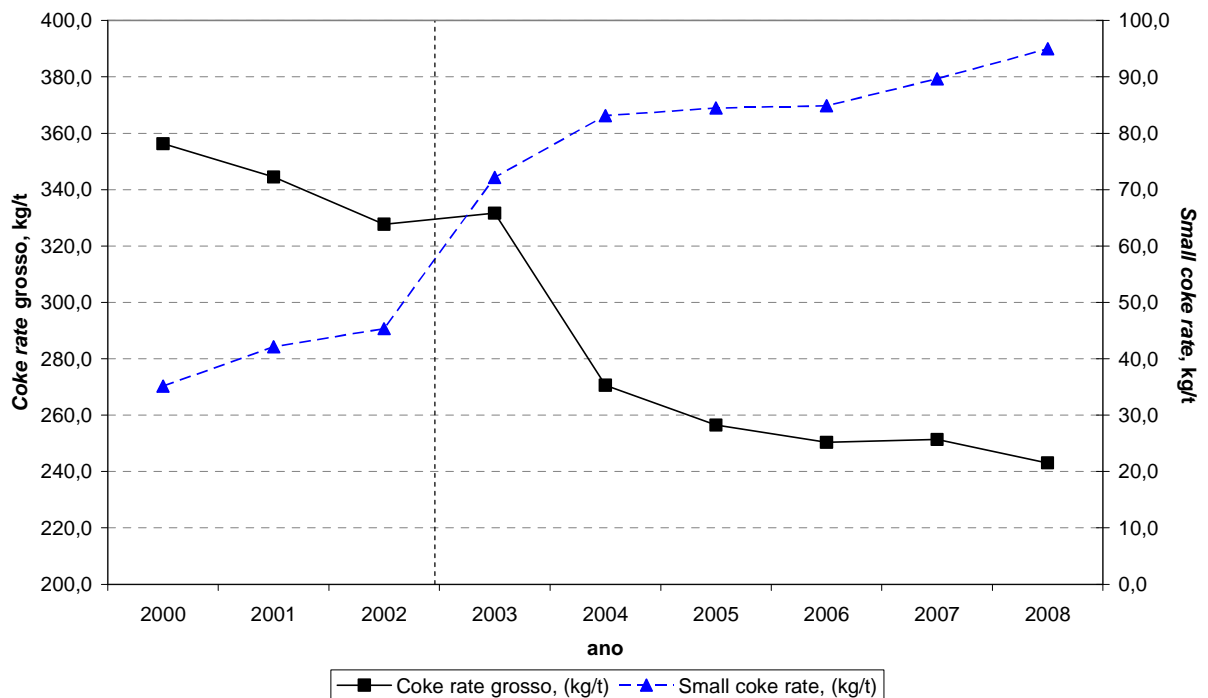
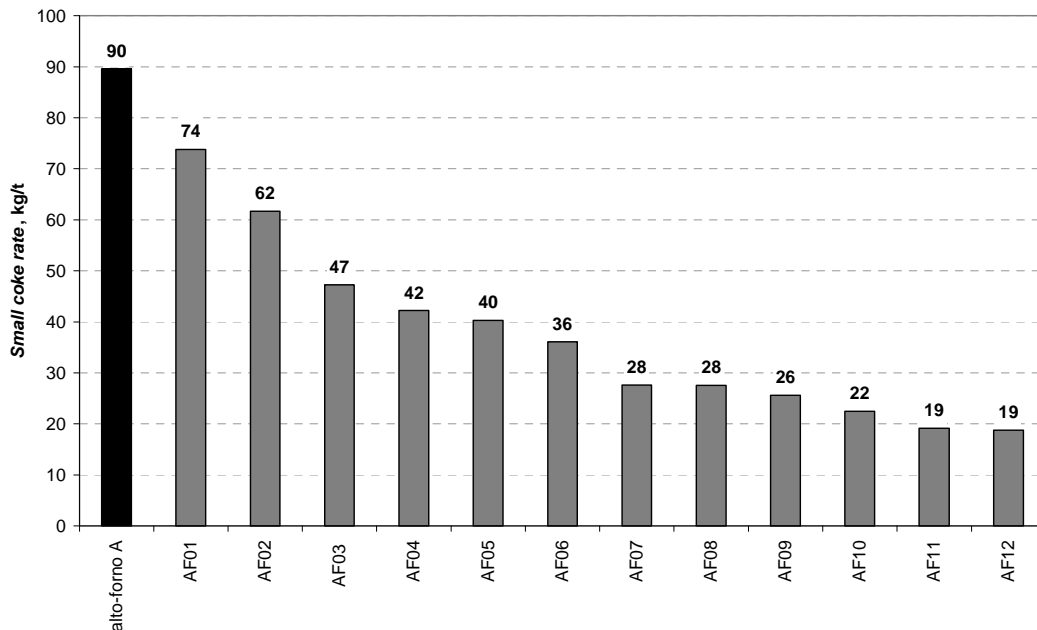


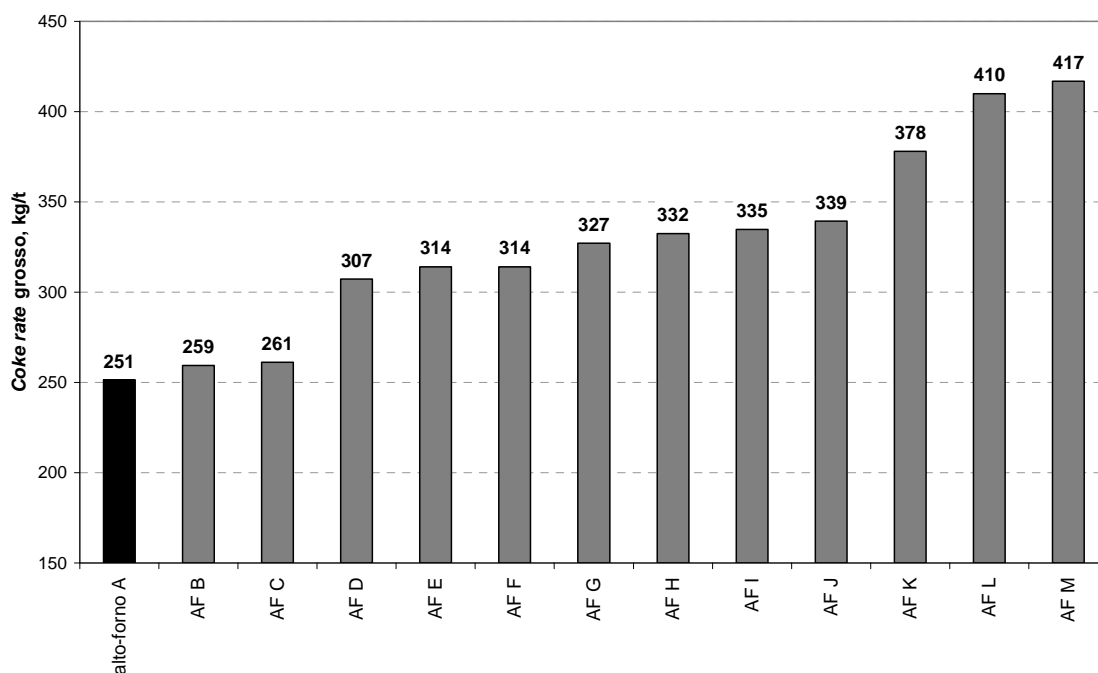
Figura 9. Evolução do consumo de coque metalúrgico e *small coke* no AF-A.



Com a mudança de filosofia de distribuição de cargas e a rotina de acompanhamento diário do processo do AF-A, somada a outros fatos relevantes que se iniciaram em 2003 tais como um aumento na participação de sinter na carga metálica (de 80% para 86% em média) e a padronização do consumo de carvões minerais baixo voláteis na injeção, permitiram ao AF-A tornar-se *benchmark* nacional na utilização de *small coke* e coque grosso. As Figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, esses comparativos de consumo de *small coke* e coque grosso no ano de 2007 entre os altos-fornos brasileiros.



Fonte: Encontro de Especialistas da Área de Redução.  
**Figura 10.** *Small coke rate* dos altos-fornos brasileiros em 2007.



**Figura 11.** *Coke rate grosso* nos altos-fornos brasileiros em 2007.<sup>(2)</sup>

Por fim, a Figura 12 mostra a evolução do *fuel rate* e da taxa de injeção de finos entre os anos de 2001 e 2007.

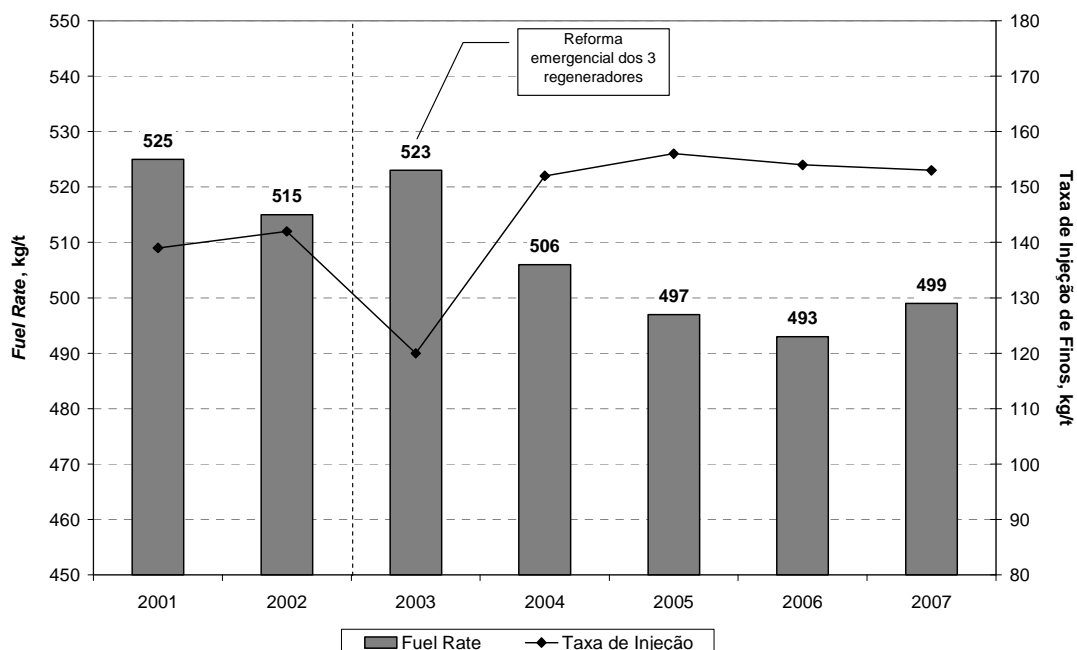


Figura 12. Evolução do *fuel rate* e da taxa de injeção no AF-A.

## 4 CONCLUSÃO

Do exposto concluiu-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 coke* e de 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.
- com a utilização de alta participação de *small coke* na carga, pode-se dizer que o coque do centro é mais preservado no interior do forno, garantindo assim, uma adequada permeabilidade da coluna de carga refletindo em redução de *coke rate* e aumento de produtividade no AF-A.

## REFERÊNCIAS

- 1 GEERDES, M., VLIET, C. V. der, TOXOPEUS, H., MEDEIROS, F. T. Práticas modernas para operação de altos-fornos. Danieli Corus, 2008.
- 2 Dados do 3º quadrimestre de 2007. In: ENCONTRO DE ESPECIALISTAS DA ÁREA DE REDUÇÃO USINAS A COQUE, 2008, Ipatinga.