



UTILIZAÇÃO DE DUPLA LANÇA DE INJEÇÃO DE FINOS NO ALTO-FORNO 2 DA ARCELORMITTAL INOX BRASIL S.A.¹

Vinícius de M. Oliveira²

Marcelo L. M. Borges²

Cipriano F. de Brito³

Rogério Americano³

Geraldo N. Vieira³

Hélvio C. Carvalho⁴

Guilherme do E. S. Ribeiro⁴

Marcelo A. Martins⁴

Max Guerra Silva⁴

Luiz José Gonçalves⁵

Resumo

O objetivo da utilização de duas lanças para injeção de finos nas ventaneiras de altos-fornos é o de promover uma maior espalhamento e conseqüentemente um maior contato do carvão moído e o oxigênio do ar soprado na região da zona de combustão do alto forno, de modo a aumentar a eficiência de queima do carvão, reduzindo-se o consumo total de combustível. O presente trabalho descreve as principais etapas da adequação do sistema de injeção de finos do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. para utilização de dupla lança de injeção de finos. Os resultados obtidos ficaram acima do previsto inicialmente, atingindo uma redução do consumo de combustível da ordem de 7,5 kg/t gusa. Além da redução do consumo de combustível foi possível praticar taxas de injeção de finos nunca antes atingidas e com excelente eficiência, permitindo obter em janeiro/08 o recorde de 200 kg/t gusa. Os patamares de injeção de finos atualmente praticados neste alto-forno estão entre os maiores índices da siderurgia brasileira.

Palavras chave: Injeção de finos; Alto-forno.

USE OF TWO LANCES FOR PULVERIZED CHARCOAL INJECTION IN ARCELORMITTAL INOX BRASIL S.A.'S BLAST FURNACE 2

Abstract

The main objective using two lances for pulverized coal injection in blast furnace tuyeres is to promote a better dispersion of this material and consequently to have a increase in the contact area between coal particles and oxygen of the blowing air in raceway. The increase in burn efficiency of the coal lead to a decrease of the total fuel rate. The present work describes the main stages of the adaptation of the injection system of pulverized charcoal of ArcelorMittal Inox Brasil S.A.'s BF 2 for the use of two injection lances. The main result attained was a decrease in fuel rate of 7,5 kg/t hot metal. Besides the fuel rate reduction it was possible to practice injection rates never reached before and with excellent efficiency, leading to a record of 200 kg/t hot metal in January 2008. The charcoal fines rate now practiced in this blast furnace are one of the largest practiced in the Brazilian Ironmaking Plants.

Key words: Pulverized charcoal injection; Blast furnace

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Assistente técnico – Gerência de Área de Controle de Processo da Redução e Gerência de Engenharia de Manutenção – ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

³ Analista técnico – Gerência de Área de Manutenção da Redução e Gerência de Engenharia de Manutenção – ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

⁴ Gerente - ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

⁵ Analista Consultor - ArcelorMittal Inox Brasil S.A.



1 INTRODUÇÃO

A injeção de combustível pelas ventaneiras de altos-fornos vem sendo utilizada como uma alternativa para a redução de consumo de combustível granulado no topo do reator. Essa substituição leva a uma redução significativa do custo de produção de ferro-gusa além de permitir, para o caso das usinas integradas a coque, o prolongamento da vida útil das coqueiras.

A crise do petróleo da década de 70 foi um marco para este tipo de tecnologia, a partir daí desenvolveu-se a injeção de carvão mineral pulverizado nas ventaneiras de altos-fornos em diversas regiões do mundo, principalmente na Europa, com destaque especial para os sistemas desenvolvidos pelas empresas de equipamentos *Küttner* e *Paul Wurth*. No Brasil, a ArcelorMittal Inox Brasil S.A. (antiga Acesita S.A.) foi a primeira empresa a utilizar este tipo de tecnologia, desenvolvendo um sistema próprio para a injeção de carvão vegetal pulverizado nas ventaneiras de seus dois altos-fornos aproveitando os finos de carvão vegetal gerados no peneiramento dos altos-fornos.

A consolidação desta tecnologia, ao longo da década de 80, permitiu atingir, nos altos-fornos, taxas de injeção de finos da ordem de 130 Kg/t a 170 Kg/t de gusa, sendo constatado que à medida que a quantidade de carvão injetado aumenta, a taxa de substituição (relação entre o peso de coque substituído pelo peso do carvão injetado) diminui gradativamente. Deste modo, os esforços realizados nos últimos anos têm como objetivo minimizar a queda na taxa de substituição à medida que se aumenta a quantidade de finos injetados, permitindo obter taxas de injeção superiores a 170 kg/t.

Uma das alternativas desenvolvidas para permitir o aumento da quantidade de carvão pulverizado injetado pelas ventaneiras foi a utilização de duas lanças montadas paralelamente nos algaravizes. O objetivo deste tipo de prática é de promover um maior “espalhamento” e, conseqüentemente, um maior contato entre o carvão moído e o oxigênio do ar soprado na região das ventaneiras e *raceway* e, assim, aumentar a eficiência de queima do carvão, permitindo-se aumentar a quantidade de carvão pulverizado injetado nas ventaneiras sem reduzir a taxa de substituição pelo combustível granulado do topo.

Em maio de 2006 iniciaram-se os estudos pela Gerência de Engenharia de Manutenção para adaptação e ajustes do antigo sistema de injeção de finos, preparado para apenas uma lança de injeção, para o atual sistema que possui duas lanças de injeção de finos. Em setembro de 2006, após o estudo de montagem dos algaravizes, desenvolvimento do encaminhamento das tubulações e avaliação do diâmetro da lança, foi desenvolvido e montado um protótipo (preparado na empresa QUALICTEC) no Alto-Forno 2. Após aprovação do protótipo e dos ajustes de campo foi realizada a adaptação das tubulações e dos algaravizes restantes, concluindo a montagem dos 16 algaravizes no alto-forno em Julho de 2007.

Os ganhos com o projeto ficaram acima do previsto inicialmente, atingindo uma redução do consumo de combustível de topo (“*coke rate*”) da ordem de 7,5 kg/t gusa. Além da redução do consumo de combustível foi possível praticar taxas de injeção de finos nunca antes atingidas e com excelente eficiência, permitindo obter em janeiro de 2008 o recorde de 200 kg/t gusa. Os patamares de injeção de finos atualmente praticados neste alto-forno estão entre os maiores índices praticados da siderurgia brasileira.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Utilização de Combustíveis nas Ventaneiras de Altos-fornos

A definição do tipo de combustível a ser utilizado nas ventaneiras dos altos-fornos está diretamente relacionada com o custo do material, sua disponibilidade e taxa de substituição (relação entre o peso de coque substituído pelo peso do carvão injetado). No caso da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. utiliza-se o carvão vegetal pulverizado como combustível injetado nas ventaneiras dos 2 altos-fornos pelas seguintes razões:

- trata-se de uma alternativa extremamente econômica por se tratar de uma matéria-prima de valor econômico inferior ao coque granulado;
- consegue-se fechar o balanço de carvão vegetal consumido na empresa, pois a maior parte dos finos utilizados para fabricação do carvão pulverizado é gerado internamente no peneiramento do carvão vegetal granulado utilizado no topo do Alto-forno 1; e
- a qualidade dos finos de carvão gerados internamente para fabricação do carvão pulverizado é superior à qualidade dos finos de carvão disponibilizados no mercado, e assim, as taxas de substituição de coque por carvão pulverizado tornam-se maiores;

O restante dos finos de carvão vegetal para completar a quantidade necessária para a injeção nos dois altos-fornos é proveniente de terceiros. A Tabela I mostra as principais características dos dois alto-fornos da ArcelorMittal Inox Brasil S.A..

Tabela 1– Principais características dos alto-fornos da ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

Característica	un.	Alto-Forno 1	Alto-Forno 2
Nº de ventaneiras	-	12	16
Nº de furos de corrida	-	1	1
Diâmetro do cadinho	m	4,5	6,5
Volume útil (acima das ventaneiras)	m3	327	558
Volume total	m3	375	709
Sistema de carregamento	-	duplo cone	topo sem cone (Paul Wurth)
		Skip	correia transportadora
Produtividade (volume de trabalho)		2,00	2,00
Tipo de combustível topo		Carvão vegetal	Coque
Capacidade máx. de injeção	kg/h	6.000	11.000
Contra pressão máx.	bar	0,30	1,50
Pressão de sopro típica	bar	0,90	1,60
Sistema de lavagem dos gases	-	Venturi	Bischoff

Nas usinas integradas a coque, o mais comum é o uso do carvão mineral como combustível para injeção nas ventaneiras. São utilizados os carvões não coqueificáveis que são bem mais baratos por não poderem ser utilizados na fabricação de coque. Outros tipos de combustíveis que também são utilizados são o gás natural e óleo combustível. Entretanto, a sua utilização está diretamente relacionada com a disponibilidade e custo destes combustíveis. É comum encontrar, em algumas regiões do planeta, altos-fornos que operam com estes tipos de combustível (Rússia, Oriente Médio, Argentina etc.). A Tabela 2 mostra algumas características de combustíveis injetados nas ventaneiras de altos-fornos.

Tabela 2 - Características dos combustíveis injetados nas ventaneiras de altos-fornos.⁽¹⁾

Tipo de combustível	Taxa de substituição	% carbono fixo	% Hidrogênio	%Umidade
Carvão Vegetal (literatura)	0,62 – 0,72	60 – 65 %	-	3 – 6
Carvão Vegetal (ArcelorMittal Inox Brasil)	0,69 – 0,74	67 – 71 %	-	2 – 5
Carvão Mineral	0,90 – 1,0	78 - 82	4 – 5,5	1 – 4
Gás Natural	1,05 – 1,15	57	19	-
Óleo combustível	1,17	87	11	2

2.2 Descrição do Processo

A Figura 1 mostra um esquema com as principais etapas do processo de produção de carvão vegetal pulverizado na planta de injeção de finos da ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PULVERIZADO

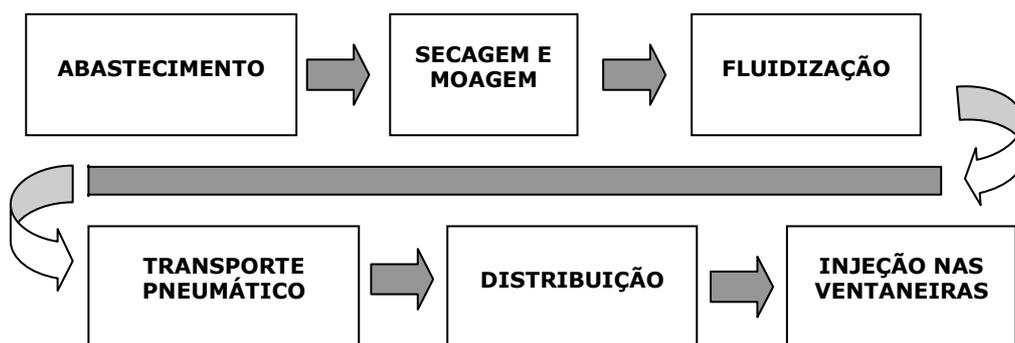


Figura 1 – Esquema com as principais etapas do processo de injeção de carvão vegetal pulverizado na planta da ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

A - Abastecimento: A moinha gerada internamente (< 6,0 mm) é transportada até a planta de injeção de finos através de caminhão, sendo descarregada na tremonha para posterior abastecimento, via correia transportadora, do moinho. A moinha adquirida de terceiros entra no circuito através do basculador de caminhões, onde, também é recebido o carvão vegetal utilizado no Alto-Forno 1.

B - Secagem e moagem: O moinho é abastecido por um alimentador rotativo. Gases quentes são introduzidos neste equipamento, provenientes do gerador de gás, removendo parte da umidade do carvão pulverizado produzido. A mistura gás-carvão é levada até o ciclone coletor onde os gases são separados do carvão, passando posteriormente por um filtro de mangas, onde a fração mais fina é coletada. Os gases limpos são succionados pelo exaustor secundário e liberados para atmosfera. O pó de carvão do ciclone e filtro de mangas flui por gravidade para o silo de produto acabado.

C – Fluidização e transporte pneumático: A fluidização do carvão no interior do silo é necessária para o controle do escoamento do mesmo no interior do mesmo e dos vasos do sistema de transporte. O silo de carvão pulverizado é inertizado com

nitrogênio para evitar incêndio e explosões. O carvão pulverizado flui por gravidade para o vaso de alimentação pressurizado e em seguida para o vaso de transporte. O vaso de transporte descarrega o carvão vegetal pulverizado constantemente numa taxa de injeção controlada por uma válvula rotativa dosadora. Uma balança integrada ao vaso de transporte fornece constantemente o peso do vaso permitindo o controle da taxa de injeção.

D – Distribuição e injeção: A distribuição e injeção do carvão vegetal pulverizado nas ventaneiras do alto-forno é realizada através de um conjunto de distribuidores e pelas lanças de injeção. A mistura ar-carvão é transportada do vaso de transporte até o distribuidor através da linha principal de alimentação.

2.3 Condições para Aumento das Taxas de Injeção

A prática de elevadas taxas de injeção de finos em altos-fornos, de acordo com a literatura, é possível através da melhoria da queima do carvão na região das ventaneiras, atuando-se nos seguintes parâmetros: granulometria, mistura de carvões e lanças de injeção (posicionamento e quantidade).

De modo geral, com relação à granulometria, quanto mais finas as partículas de carvão, maior será a área específica disponível e como conseqüência melhor será a queima na região das ventaneiras. Contudo, o custo de moagem tem peso considerável no custo global do processo, o que limita o uso desta alternativa.

A mistura de carvões é uma prática muito utilizada nos alto-fornos que injetam carvão mineral. O objetivo principal deste *mix* é se conseguir uma boa queima além de minimizar o custo do carvão injetado. A metodologia de caracterização destes carvões inclui a análise imediata e elementar, composição química e ponto de amolecimento das cinzas, análise petrográfica, das propriedades plásticas e do poder calorífico. Com relação às propriedades físicas, destaca-se a distribuição granulométrica e o HGI (índice que mede a facilidade/dificuldade da moagem e quantidade de energia necessária – viabilidade técnico-econômica). O resíduo gerado durante a queima do carvão mineral, conhecido como “*char*”, também é caracterizado através de estudos de reatividade e por microscopia eletrônica de varredura. Com relação ao carvão vegetal essa caracterização limita-se a análise imediata, química das cinzas e distribuição granulométrica. Os finos de carvão vegetal são de fácil moabilidade, não sendo necessária a obtenção do HGI.

Com relação às lanças de injeção de finos, testes de laboratório têm mostrado que a eficiência de combustão está intimamente ligada ao contato do oxigênio do ar de sopro com as partículas de carvão. A utilização de duas lanças para injeção de finos nas ventaneiras de altos-fornos surgiu como uma alternativa para melhorar este contato gás-sólido. Neste caso as lanças são posicionadas no algaraviz, de modo que os bicos fiquem paralelos. Esse posicionamento mais recuado das lanças foi ajustado com o objetivo de aumentar o tempo de contato entre a partícula de carvão e o oxigênio (melhorando a eficiência de queima) e neutralizar o desgaste das ventaneiras por abrasão das partículas.

Sendo assim, o “leque” formado pela saída do carvão pulverizado da ponta de cada lança irá gerar um espalhamento maior do material, e assim, promover um melhor contato com o ar soprado.

A Figura 2 mostra um esquema do projeto implantado no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

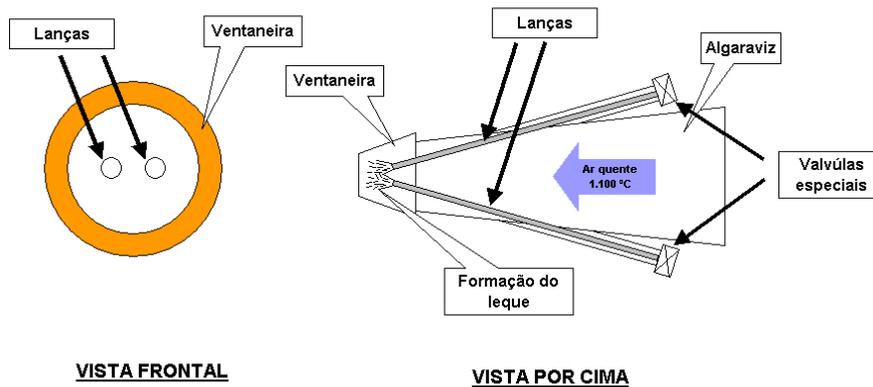


Figura 2 – Figura esquemática do projeto dupla lança implantado no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A.

Ariyama *et al.*⁽²⁾ desenvolveram um equipamento experimental para estudar os efeitos do posicionamento e da quantidade de lanças utilizadas para injeção de carvão mineral pulverizado nas ventaneiras de altos-fornos. Alguns dos resultados obtidos neste equipamento encontram-se na Figura 3. Para o efeito do posicionamento das lanças, observa-se que quanto antes o carvão encontrar o oxigênio do ar maior será o tempo de contato e mais eficiente será a combustão. Com relação a quantidade de lanças, a eficiência de combustão para duas lanças é maior que para apenas uma lança, independentemente do posicionamento destas.

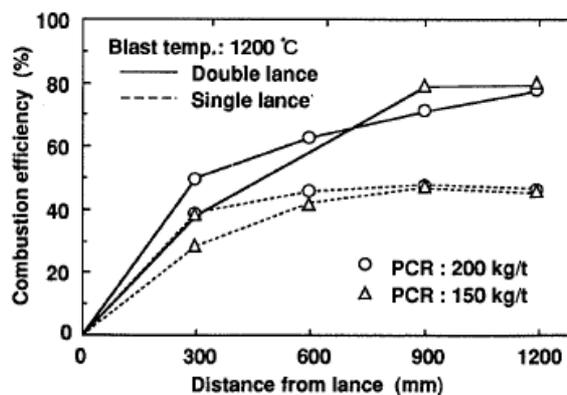


Figura 3 – Influência das lanças de injeção sobre a eficiência de combustão.⁽²⁾

Os resultados experimentais obtidos por Ariyama *et al.*⁽²⁾ podem ser explicados pelo comportamento do fluxo de carvão esquematizado na Figura 4. Nota-se que, para o sistema com apenas uma lança, o fluxo de partículas de carvão encontra-se mais concentrado na região central da ventaneira, dessa forma o aproveitamento das moléculas de oxigênio presentes no ar soprado, na periferia, é mínimo. Para o sistema com duas lanças, o fluxo de partículas de carvão encontra-se mais disperso e esse aproveitamento é mais uniforme. Portanto, para uma mesma quantidade de material, o maior espalhamento promovido pela utilização de duas lanças de injeção de finos leva a uma melhora no contato gás-sólido, aumentando a eficiência de queima do carvão injetado.

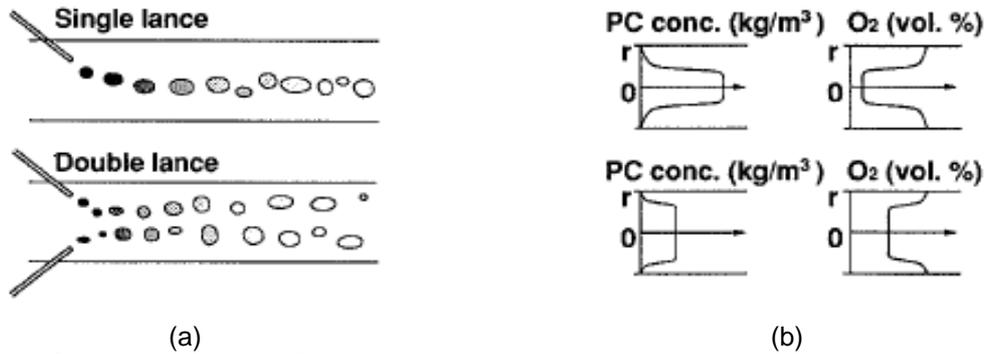


Figura 4 – Comportamento do fluxo de carvão mineral pulverizado para dois tipos de lanças (a), e perfil de concentração do carvão mineral pulverizado e de oxigênio (b).⁽²⁾

2.3 Desenvolvimento do Projeto e Estudo de Engenharia

A primeira fase do projeto foi da visita as empresas ArcelorMittal Monlevade e ArcelorMittal Tubarão com o objetivo de conhecer detalhes da implantação e do uso de dupla lança nos algaravizes de seus alto-fornos. Outra empresa visitada foi a Qualittec, localizada na cidade de João Monlevade, MG, responsável pelo fornecimento de algaravizes adaptados para a nova condição. Daí, iniciou-se o estudo de engenharia dos algaravizes com a pesquisa dos desenhos existentes e levantamentos na área de ventaneiras do Alto-Forno 2.

O desenvolvimento do projeto e estudo de engenharia foi dividido nas seguintes etapas:

- visita às empresas do grupo arcelormittal brasil e desenvolvimento do potencial fornecedor;
- estudo de montagem das lanças em um algaraviz e levantamento topográfico da montagem dos dezesseis algaravizes;
- desenvolvimento do encaminhamento das tubulações para as duas lanças, mantendo a equalização da perda de carga nos dois circuitos, e a adaptação de um dos algaravizes com dupla lança;
- implantação, para testes e ajustes, do algaraviz a ser utilizado como protótipo;
- adequação do projeto dupla lança nos quinze algaravizes restantes; e
- implantação dos quinze algaravizes restantes.

A Figura 5 mostra o posicionamento da lança simples de injeção de finos original em um algaraviz do Alto-Forno 2. Na Figura 6 pode-se observar algumas interferências levantadas.



Figura 5 - Posicionamento da lança simples de injeção de finos original em um algarviz do Alto-Forno 2.

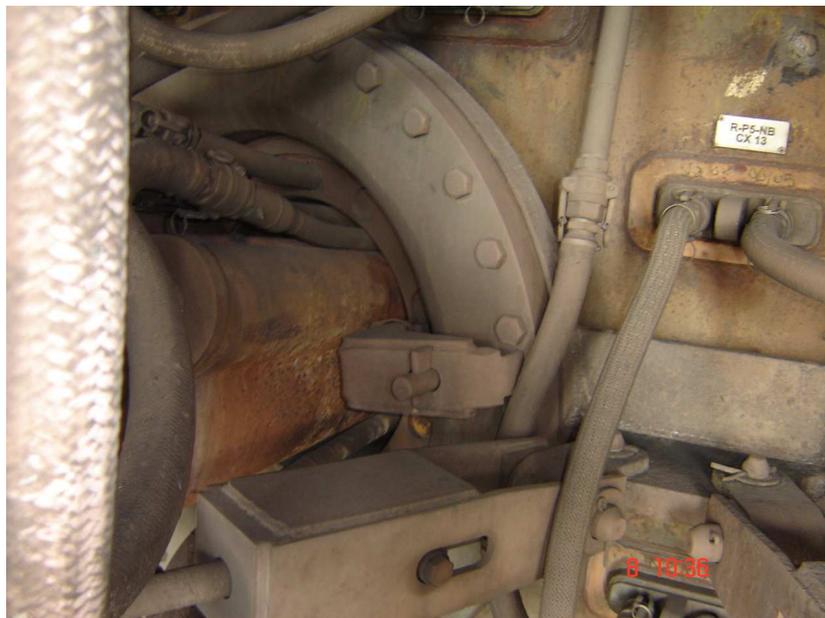


Figura 6 - Interferência da estrutura do algarviz com a tampa do Alto-Forno 2.

Como parte do estudo de engenharia desenvolveu-se um protótipo em parceria com a empresa Qualitect, sendo realizados testes com ar comprimido e carvão pulverizado em uma montagem especialmente construída nessa empresa. Além do projeto normal, optou-se pela instalação de um dispositivo de segurança, tipo retenção, para evitar a saída de material incandescente do interior do forno durante a colocação e retirada da lança. Foi também projetado um dispositivo que permite o avanço ou recuo da lança de acordo com a necessidade de centralização do fluxo pelo operador, podendo a mesma ser movimentada de 50 mm a 150 mm. O algarviz piloto ficou em testes entre outubro/2006 e novembro/2006, sendo avaliadas, neste período, as adaptações de campo necessárias. Entre novembro/2006 e julho/2007 foram adaptados e montados os algarvizes restantes. A Figura 7 apresenta um dos algarvizes instalado no Alto-Forno 2.

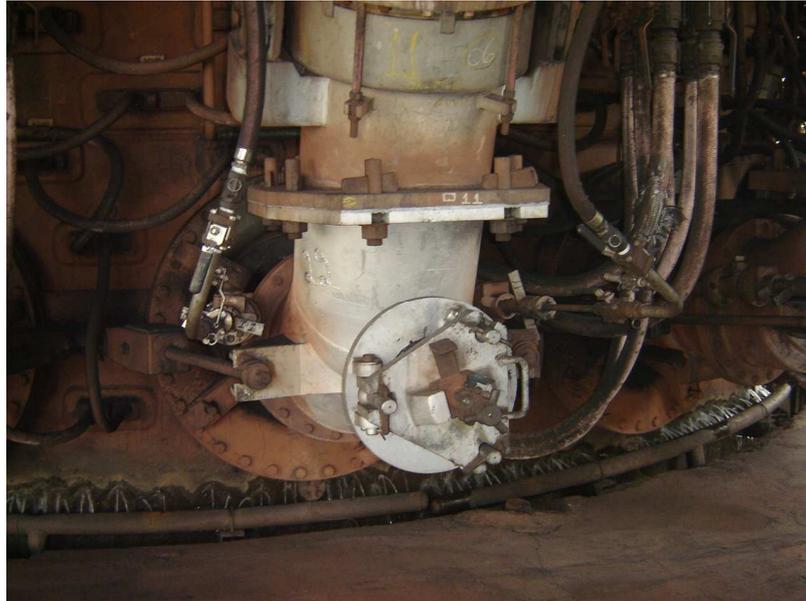


Figura 7 - Algaraviz de dupla lança instalado no Alto-Forno 2.

3 RESULTADOS

A Figura 8 mostra os resultados de consumo de combustível do Alto-Forno 2 desde 2002.

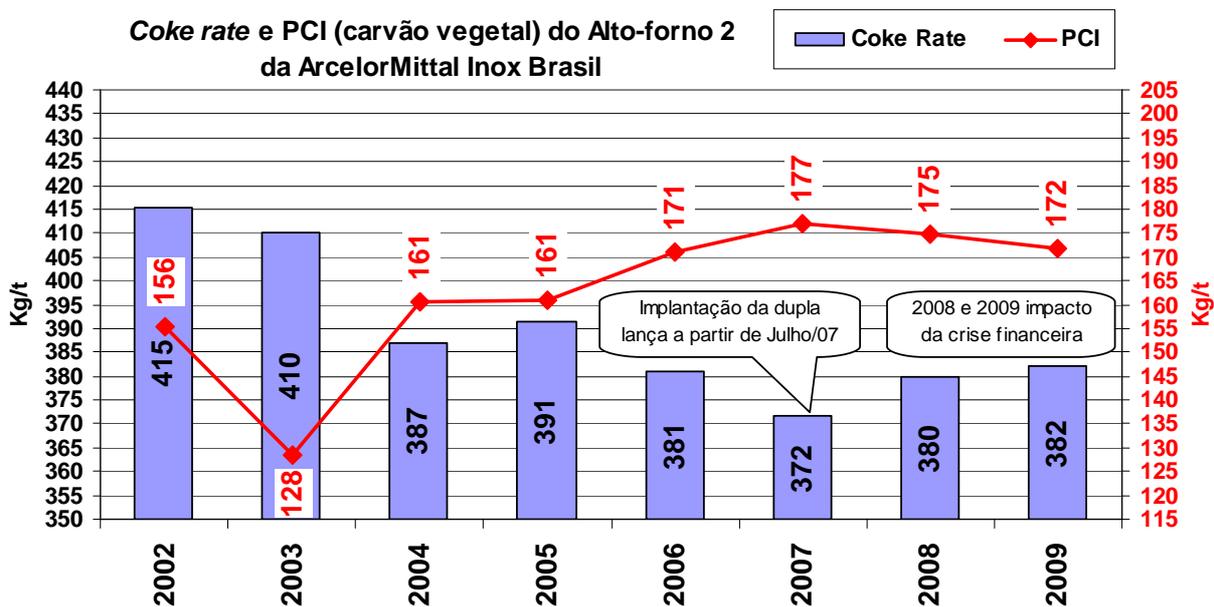


Figura 8 – Coke Rate e PCI (carvão vegetal) no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. a partir de 2002.

Nota-se uma redução no *coke rate* e aumento do PCI (injeção de carvão vegetal pulverizado nas ventaneiras). Comparando-se os anos de 2007 e 2006 nota-se uma redução de quase 10 Kg/t no *coke rate* e um acréscimo de apenas 6 kg/t no PCI, ou seja, houve uma redução do consumo global de combustível (coque equivalente). A explicação para essa otimização do consumo de combustível deve-se, em parte, a implantação do projeto de dupla lança de injeção que ocorreu em julho de 2007. Os anos de 2008 e 2009 foram impactados pela crise financeira internacional que

culminou com a parada do Alto-Forno 2 em dezembro de 2008, sendo que *blow in* só ocorreu em maio de 2009.

Para uma melhor verificação dos ganhos com o projeto, optou-se pela avaliação dos dados do período entre os meses de setembro e dezembro de 2007. Neste período o reator trabalhou praticamente com a mesma produção, com estabilidade de fornecimento e qualidade matérias-primas e sem ocorrência de paradas não programadas. A Figura 9 mostra os mesmos parâmetros comentados anteriormente, porém, apenas para o ano de 2007, onde se pode observar a grande estabilidade de consumo de combustível entre setembro e dezembro de 2007.

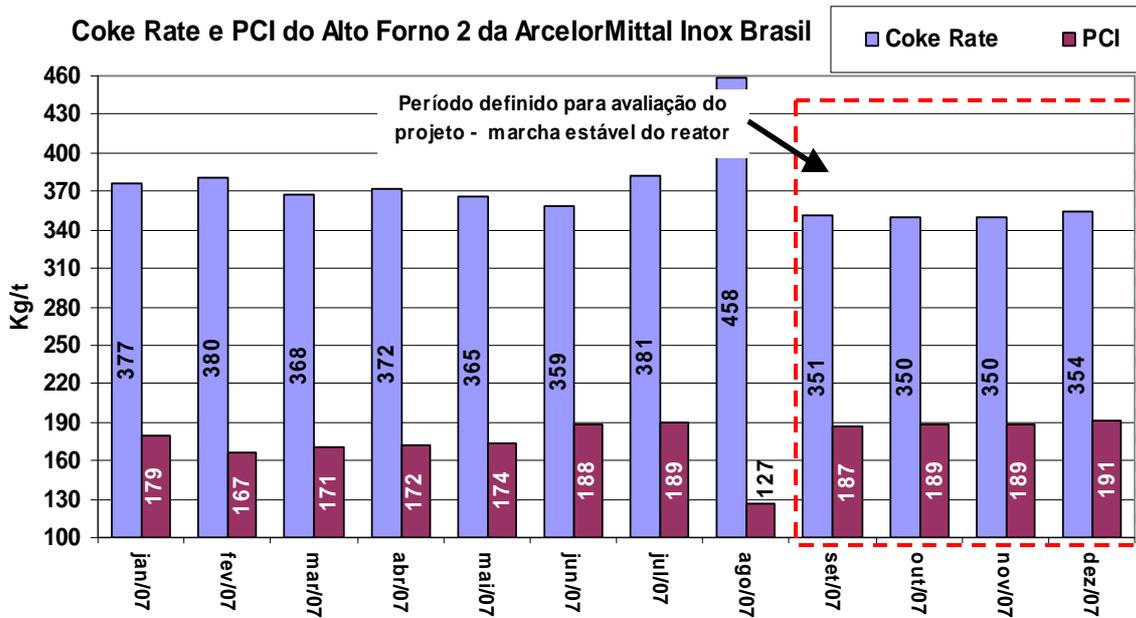


Figura 9 – Coke Rate e PCI (carvão vegetal) do Alto Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. no ano de 2007.

A análise do período acima levou à estimativa de redução do consumo global de combustível após implantação da dupla lança de injeção de finos no Alto-Forno 2, coque equivalente, da ordem de 7,5 kg/t. Obviamente, em função do custo mais elevado, essa queda ocorreu através da redução do *coke rate*.

Outro indicativo da melhora da eficiência de queima do carvão vegetal pulverizado injetado nas ventaneiras foi a redução do teor de carbono do pó de coletor. A Figura 10 ilustra a evolução deste parâmetro para o período de estimativa dos ganhos com a implantação da dupla lança de injeção de finos. Nota-se, que após a implantação total do projeto, em Julho/07, houve uma queda acentuada neste parâmetro.

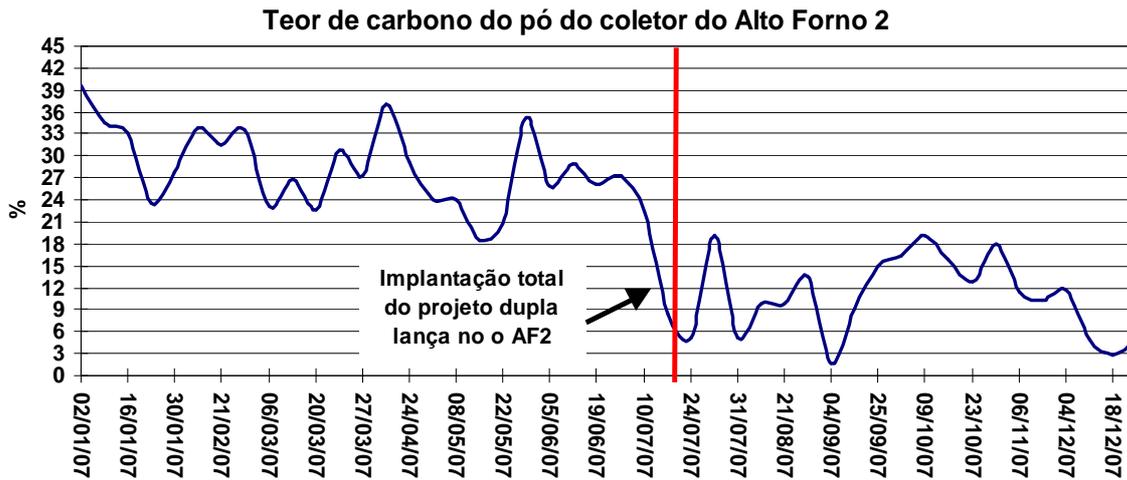


Figura 10 - Teor de carbono do pó gerado nos gases de topo do Alto-Forno 2.

4 CONCLUSÕES

A utilização de duas lanças para injeção de finos de carvão vegetal pulverizado nas ventaneiras do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. melhorou consideravelmente a sua eficiência de queima na região das ventaneiras e do raceway (zona de combustão do alto forno), reduzindo-se o consumo total de combustível (coque equivalente) em 7,5 kg/t. Além da redução do consumo de combustível foi possível praticar taxas de injeção de finos nunca antes atingidas e com excelente eficiência, permitindo obter em Janeiro de 2008 o recorde de 200 kg/t gusa. Os patamares de injeção de finos atualmente praticados no Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Inox Brasil S.A. estão entre os maiores índices praticados na siderurgia brasileira.

Outro ponto importante do projeto diz respeito à segurança dos operadores no manuseio das lanças devido à instalação do dispositivo contra retorno de material incandescente durante a introdução e retirada das lanças bem como a diminuição considerável do peso dessas lanças.

REFERÊNCIAS

- 1 GEERDES, M., TOXOPEUS H. and VLIET C. Modern Blast Furnace Ironmaking, an Introduction. Verlag Stahleisen GmbH, Dusseldorf, 2004.
- 2 ARIYAMA, T., SATO, M., YAMAKAWA, Y., YAMADA, Y. and SUZUKI, M. Combustion behavior of pulverized coal in tuyere zone of blast furnace and influence of injection lance arrangement on combustibility. ISIJ International, vol. 34 (1994), nº 6, pp. 476 – 483.