

# CARBONIZAÇÃO, OS EFEITOS NA BATERIA, AÇÕES MITIGATÓRIAS E PLANOS IMPLEMENTADOS<sup>1</sup>

*Catia Moreira Casagrande<sup>2</sup>  
Leonardo Barbosa de Mello<sup>3</sup>  
Luiz Loss<sup>4</sup>  
Ramiro Conceição Nascimento<sup>5</sup>  
Ricardo José da Silva<sup>2</sup>  
Orlando Brandenberger Valente<sup>2</sup>*

## **Resumo**

A Coqueria da ArcelorMittal Tubarão é composta por 3 baterias de 49 fornos cada. Em 2007 foi verificada uma formação excessiva de carbono dentro dos fornos. Fato que pode causar problemas operacionais e impactar a performance das baterias. Através da avaliação foi implementada uma metodologia para a solução e estudo destes problemas operacionais. O objetivo deste trabalho é avaliar o processo de produção de coque, verificando os fatores de geração de carbono nos fornos das baterias, os seus efeitos e as ações implementadas visando minimizar os impactos da carbonização. O resultado esperado é o conhecimento dos fatores impactantes do processo de formação de carbono.

**Palavras-chave:** Formação de carbono; Matéria volátil; Índice operacional e superfino.

## **CARBONIZATION, EFFECTS IN THE COKE PLANT, ACTION PLANS**

### **Abstract**

AMT Coke Plant is made up of 3 batteries of 49 ovens each. In 2007, an excessive carbon deposit was verified inside the ovens, which can cause operational problems and jeopardize the batteries' performance. Through an evaluation, a methodology for the solution and study of those operational problems was implemented. The objective of this project is to evaluate the coke production process, by checking the reasons of carbon deposits in the ovens, their effects and the implemented actions in order to minimize the carbonization impacts. The expected result is to know more about reasons that influence carbon deposits formation process in the ovens.

**Key words:** Carbon deposits; Volatile matter; Working ratio and fines.

<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> *Especialista de Controle Técnico da Área de Gusa e Energia, ArcelorMittal Tubarão*

<sup>3</sup> *Executivo de Abastecimento de Combustíveis e Insumos, ArcelorMittal Tubarão*

<sup>4</sup> *Técnico de Baterias e Tratamento de Gás, ArcelorMittal Tubarão*

<sup>5</sup> *Prof. Dr. de Engenharia de Materiais, Cefetes*

## 1 INTRODUÇÃO

A Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, criada em 1983, é composta por três baterias, modelo Carl Still com 49 fornos cada, uma planta de extinção a seco de coque (CDQ - Coke Dry Quenching), e uma planta de tratamento e limpeza do gás bruto de coqueria. A produção de coque bruto e o consumo de carvão são aproximadamente 1,8 Mt/ano e 2,3 Mt/ano, respectivamente. A Figura 1 mostra uma vista geral da Coqueria.



Figura 1 – Coqueria da ArcelorMittal Tubarão.

A partir de abril de 2007, as baterias de fornos da ArcelorMittal Tubarão passaram a apresentar uma formação excessiva de carbono, gerando problemas operacionais. O grau de carbonização dos fornos foi avaliado através de um padrão fotográfico criado e estudado através de uma metodologia 6 sigma para a solução e minimização da sua geração e efeitos operacionais.

Além da vida útil dos equipamentos, o impacto ao meio ambiente e as equipes de operação e manutenção também foram avaliados. Os fatores que contribuem para formação de carbono, suas influências no processo e na qualidade do produto também foram verificados.

O trabalho foi dividido em estudos relacionados à temperatura da zona livre dos fornos, matéria volátil das misturas e volume da fração de superfinos dos carvões e das misturas (<0,149 mm).

O objetivo deste trabalho é avaliar o processo de produção de coque, através da verificação dos fatores de geração de carbono nos fornos das baterias, seus efeitos e analisar as ações implementadas visando minimizar os impactos da carbonização.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Carbonização

Durante o processo de coqueificação, há formação de carbono no interior do forno, que de forma controlada tem como função principal a redução do atrito da massa de coque contra as paredes durante o desenformamento, além de selar pequenas possíveis trincas existentes na parte interna do forno, evitando assim passagem de gás cru para as câmaras de combustão.

Formações excessivas de depósitos de carbono podem gerar inúmeras complicações para os fornos, principalmente na parte superior, nas bocas de carregamento e na base dos tubos de ascensão, além das máquinas móveis e do meio ambiente.<sup>(1,2)</sup> A Figura 2 mostra exemplos de carbonização excessiva.



Figura 2 – Exemplos de carbonização excessiva.

Os principais efeitos de alta taxa de carbonização são listados a seguir:

- obstrução das bocas de carga;
- pressão de enformamento;
- emissões atmosféricas;
- empeno/Agarramento das barras niveladoras;
- queima de componentes das máquinas móveis (principalmente Carros de Carregamento);
- instabilidade do processo de produção; e
- redução da vida útil das baterias.

## 2.2. Natureza e Origem dos Depósitos de Carbono

Existem dois tipos diferentes de formação de carbono:<sup>(2,3)</sup>

- Superfinos da mistura (*carry over*):
  - as partículas superfinas são arrastadas junto com o gás da pirólise da mistura de carvões, principalmente durante a operação de carregamento;
  - forma de detecção deste tipo de depósito: análise da cinza da amostra, normalmente apresenta alta cinza; e
  - forma de prevenção deste depósito: verificação dos superfinos dos carvões adquiridos e controle do processo de britagem da mistura para evitar a geração.
- Carbono Pirolítico :
  - carbono formado pelo craqueamento do gás rico (COG) dentro dos fornos, concentrado na zona livre e na base dos tubos de ascensão;
  - forma de detecção deste tipo de depósito: análise da cinza da amostra, normalmente apresenta baixa cinza que indica quase carbono puro; e
  - forma de prevenção deste depósito: controle da temperatura da zona livre dos fornos e da matéria volátil das misturas de carvão.

Os três fatores, concentração de superfinos das misturas, matéria volátil e temperatura da zona livre, podem gerar formação de carbono no interior dos fornos.<sup>(2,3)</sup> Estes fatores quando somados formam o triângulo de carbonização dos fornos, conforme mostrado na Figura 3.



**Figura 3** – Triângulo de fatores de formação de carbono no interior dos fornos.

### 2.2.1 Concentração de superfinos das misturas (fração <0,149mm)

O depósito inicial de carbono nas paredes dos fornos é gerado pelo arraste de partículas superfinas, espalhadas pela turbulência de ar durante o enformamento da mistura de carvão.<sup>(3)</sup>

As partículas superfinas têm procedência de dois processos: de extração na própria mina e de britagem das misturas.

Os superfinos advindos da própria mina são analisados no recebimento dos carvões no pátio.

Os superfinos dos processos de recuperação e de britagem devem ser analisados e controlados para que se possa estabelecer uma melhor regulagem dos britadores para evitar a geração dos mesmos durante o processo.

### 2.2.2 Temperatura da zona livre dos fornos

A temperatura de zona livre dos fornos esta relacionada à contração da carga enformada e à temperatura de trabalho das baterias, que se relaciona diretamente a produção de coque, ou seja, ao índice operacional das baterias.<sup>(2-4)</sup>

Quanto maior o índice operacional das baterias\* maior será a temperatura média das baterias e conseqüentemente a temperatura da zona livre (Figura 4).

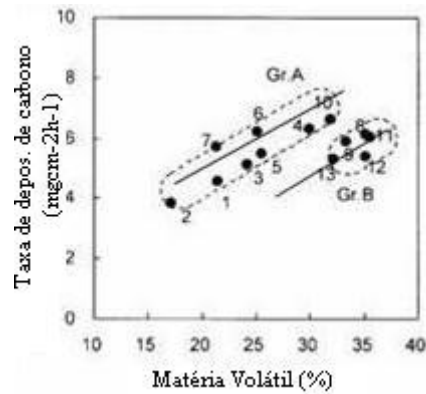


**Figura 4** – Correlação entre índice operacional e temperatura média das baterias

### 2.2.3 Matéria volátil das misturas

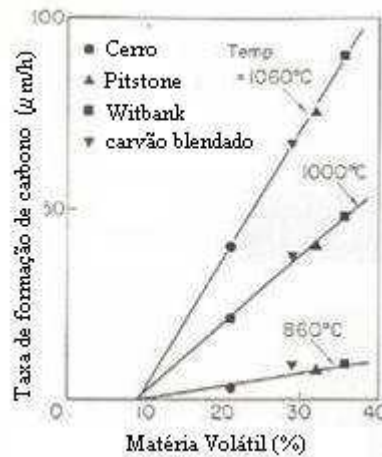
A Figura 5 mostra a influência da matéria volátil em relação à taxa de depósito de carbono sobre a superfície dos fornos. Pode-se notar que quanto maior a matéria volátil dos carvões ou das misturas, maior a taxa de deposição de carbono nos fornos para uma mesma temperatura de processo de coqueificação.<sup>(4,5)</sup>

\*Índice operacional das baterias: Índice do ritmo de produção dos fornos das baterias de coque. Exemplo: IO= 150%, significa 1,5 fornos retirados em 24 h.



**Figura 5** – Correlação entre taxa de deposição de carbono e matéria volátil.<sup>(5)</sup>

Quando se associa o fator temperatura ao fator matéria volátil, tem-se elevação exponencial da taxa de formação de carbono.<sup>(4)</sup> A Figura 6 apresenta a influência da matéria volátil em relação à taxa de depósito de carbono em três temperaturas de processo diferentes.



**Figura 6** – Correlação da taxa de formação de carbono, matéria volátil e temperatura.<sup>(4)</sup>

### 3 METODOLOGIA

Em abril de 2007 foi realizada uma análise do número de fornos da coqueria com carbono excessivo na parte interna. A posição de formação, a quantidade de carbono em cada local e os seus efeitos no processo foi avaliada. A partir de agosto de 2007 foi criado um padrão fotográfico para avaliar os graus de carbonização dos fornos, com a finalidade de indicar a prioridade dos fornos a serem descarbonizados. O padrão fotográfico refere-se ao aspecto visual de graus de formação de carbono, sendo dividido em quatro tipos de graus diferentes (Figura 7).



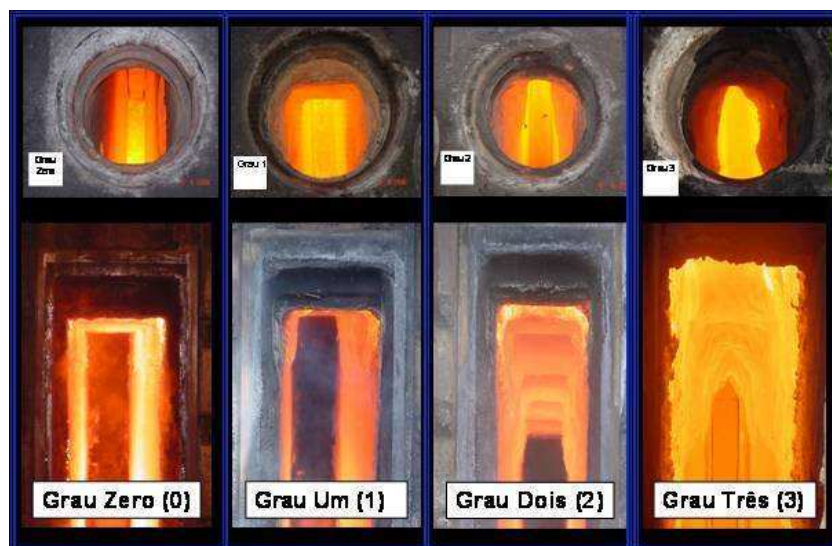


Figura 7 – Padrão fotográfico do grau de carbonização dos fornos.

A partir do padrão fotográfico foi criado o índice de carbonização das baterias de fornos das coquearias. A Figura 8 mostra a correlação entre a deposição de carbono e temperatura.

O presente trabalho foi dividido em três partes:

- temperatura de zona livre dos fornos de coque;
- superfinos das misturas; e
- matéria volátil das misturas.

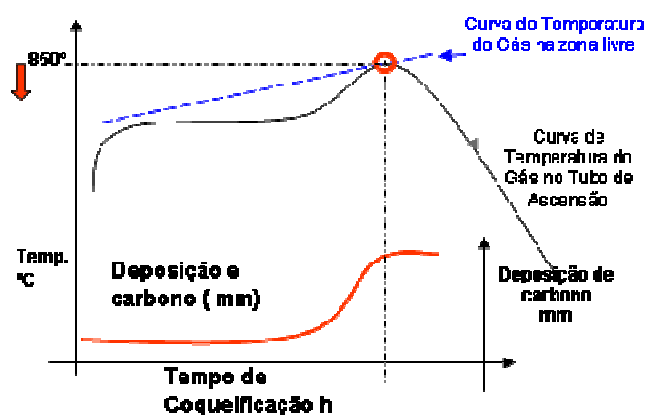


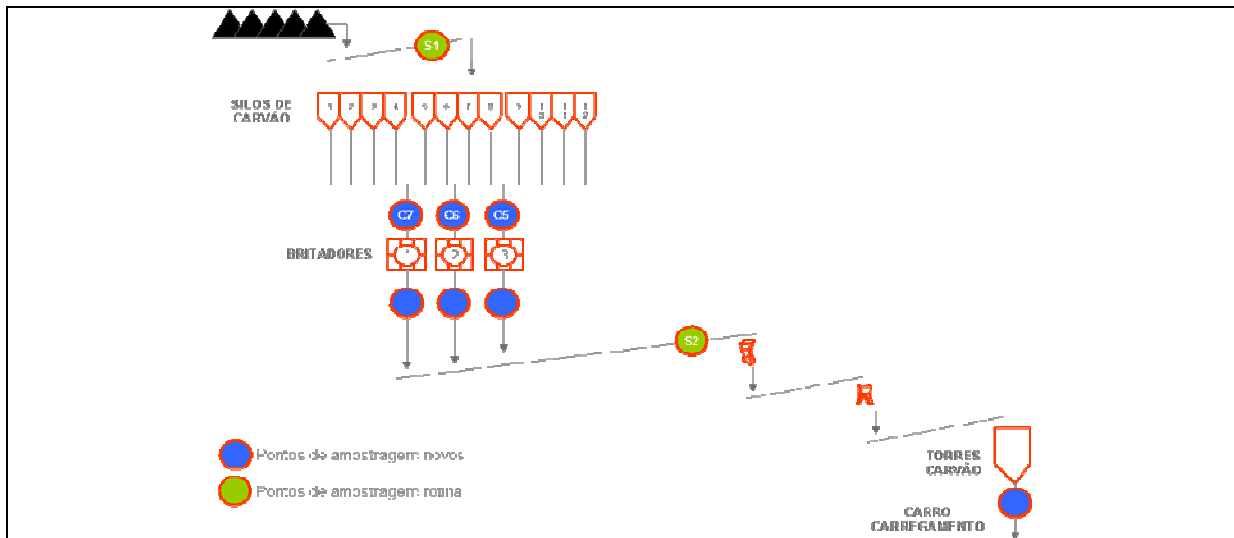
Figura 8 – Relação entre deposição de carbono e temperatura.

De acordo com a teoria, se a temperatura da zona livre for controlada abaixo de 850°C até o momento da temperatura de pico de coqueificação no tubo de ascensão (ponto de maior relação entre  $\text{CH}_4/\text{H}_2$ ), a deposição de carbono não será favorecida.

Para avaliar a teoria, foram inseridos, na boca de carga #3 (centro do forno) dos fornos 45 e 86, termopares na altura da zona livre. Os fornos estavam em distintos índices operacionais. O primeiro a 112% e o segundo a 150%. A temperatura da zona livre foi medida durante todo o período dos 15 ciclos de coqueificação de cada forno. Esta metodologia foi adotada para verificarmos a influência dos fornos vizinhos na temperatura da zona livre.

Foi avaliado o superfino ao longo de todo o processo de preparação de mistura, desde o recebimento até o enformamento. Foram retiradas amostras de

carvões individuais, semimisturas e das misturas em pontos de amostragem de rotina e em pontos especiais conforme pode ser visto na Figura 9.

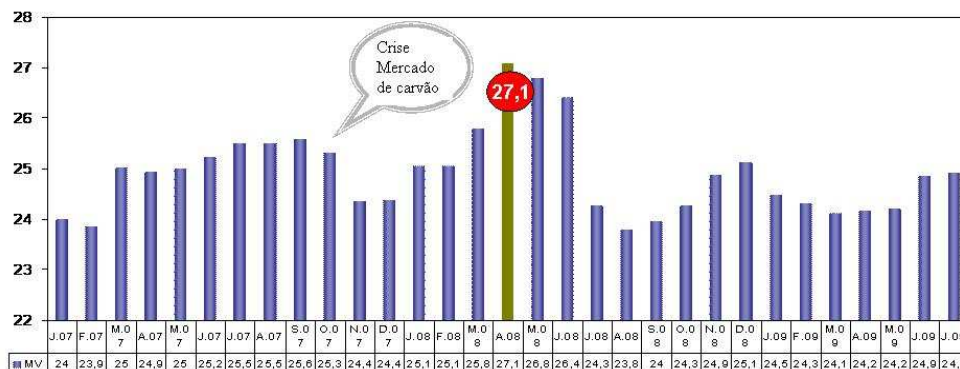


**Figura 9** – Fluxograma do processo de preparação de misturas.

Após a crise de fornecimento de carvões, em junho de 2008, foi possível efetuar a redução da matéria volátil para o patamar inicial de 24,5% em junho e a partir de julho foi retornada para o valor de 24%.

A Figura 10 mostra a evolução da matéria volátil desde janeiro de 2007, ano em que começou a crise nas minas de carvões baixo voláteis americanos. Em seguida, no ano de 2008 houve a crise de fornecimento de carvões Australianos, devido às fortes chuvas que provocaram inundações e alagamentos de várias minas.

O ápice de matéria volátil aconteceu em abril de 2008, atingindo uma média mensal de 27,1 % sendo que certos dias foram obtidos valores superiores a 28,0%.



**Figura 10** – Histórico dos valores mensais de matéria volátil das misturas de carvão.

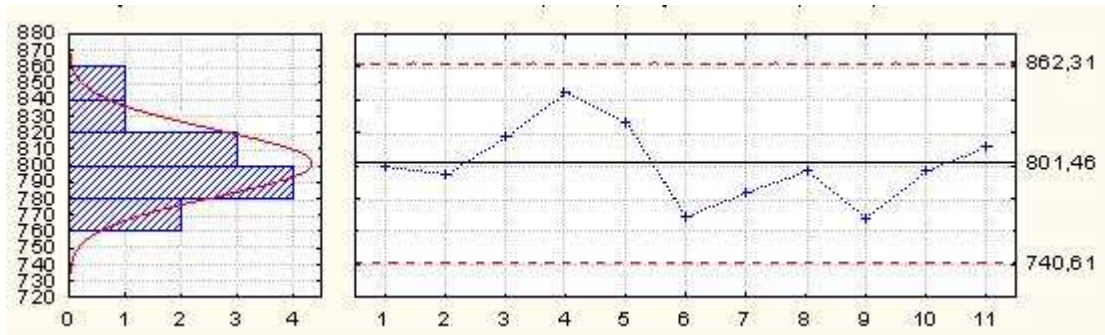
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do forno 45 comparados com os do forno 86 demonstram que a redução do índice operacional está ligada diretamente à temperatura da zona livre. A temperatura de pico do forno 45 (índice operacional de 112%) está aproximadamente 50°C menor que a do forno 86 (índice operacional de 150%). Isto demonstra que para minimizarmos os efeitos da temperatura da zona livre devemos

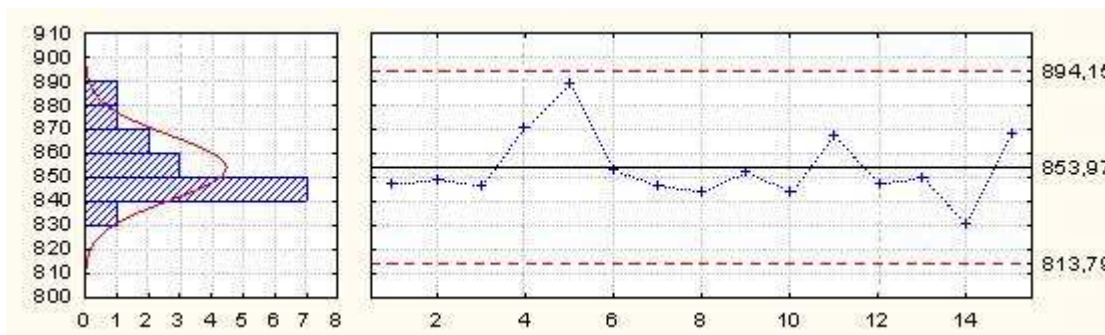
trabalhar com índices operacionais inferiores a 150%. Uma vez que dos 15 ciclos avaliados do forno 86, 10 ciclos se mantiveram abaixo ou igual aos 850°C, os outros 5 tiveram os seus valores superiores.

As Figuras 11 e 12 apresentam a temperatura na zona livre dos fornos 45 e 86, respectivamente.

De acordo com a teoria, se a temperatura da zona livre for controlada abaixo de 850°C até o momento da temperatura de pico de coqueificação no tubo de ascensão (ponto de maior relação entre  $CH_4/H_2$ ), a deposição de carbono não será favorecida.

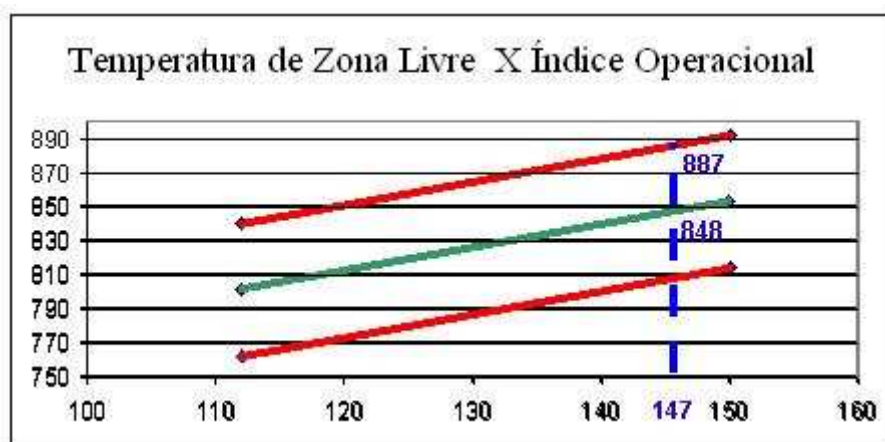


**Figura 11** – Temperatura na zona livre do forno 45 (IO:112%).



**Figura 12** – Temperatura na zona livre do forno 86 (IO:150%).

A Figura 13 apresenta a avaliação dos fornos para criação de correlação entre a temperatura de zona livre e o índice operacional.



**Figura 13**– Correlação entre a temperatura de zona livre e o índice operacional.



Utilizando 6 sigmas, a temperatura média para o índice operacional de 147% seria aproximadamente 848°C, abaixo do limite de 850°C, podendo atingir o máximo de 887°C para alguns fornos que apresentem alguma variação no sistema de carregamento ou nivelamento da carga.

Avaliando os superfinos com relação ao índice de carbonização, os resultados reais não demonstraram ter uma correlação significativa estatisticamente, conforme pode ser visto na Figura 14.

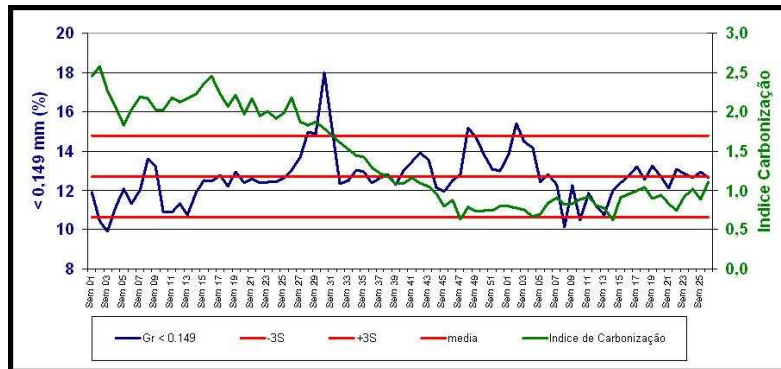


Figura 14 – Correlação entre superfinos e índice de carbonização.

Os resultados de superfinos (fração < 0,149mm) apresentaram uma influência em relação à participação dos carvões mais friáveis, tais como, canadenses, baixo voláteis e coque de petróleo (Figura 15). A quantidade de superfinos, na origem, foi de 18,5%; 13,5% e 15,1% respectivamente (valores médios de recebimento e de amostragem na recuperação no período de jan/08 a jun/09).

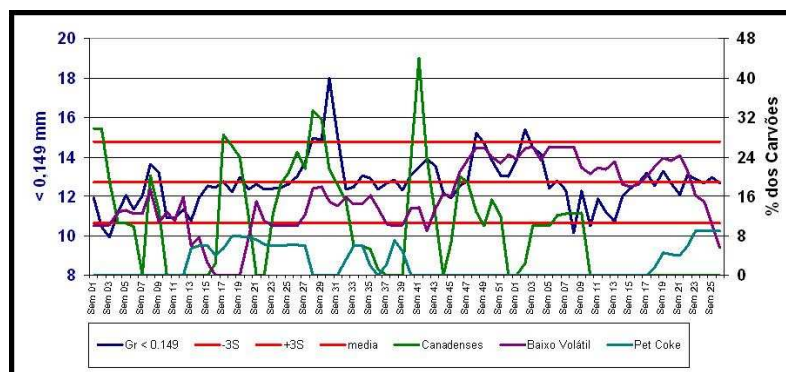


Figura 15 – Correlação entre superfinos e percentagem de carvões.

A avaliação dos resultados de matéria volátil mostrou, estatisticamente, uma correlação significativa nos resultados do índice de carbonização, como pode ser visto na Figura 16.

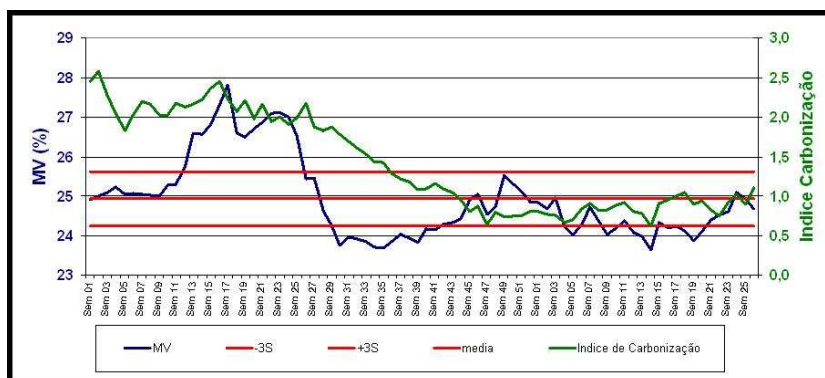


Figura 16 – Correlação entre matéria volátil e índice de carbonização.

Conforme visto na Figura 17, os fatores principais para o índice de carbonização são: a matéria volátil e o índice operacional, pois quando houve a redução da matéria volátil a partir de julho e do índice operacional a partir de novembro o índice de carbonização saiu do patamar de 2,3 para abaixo de 1,0.

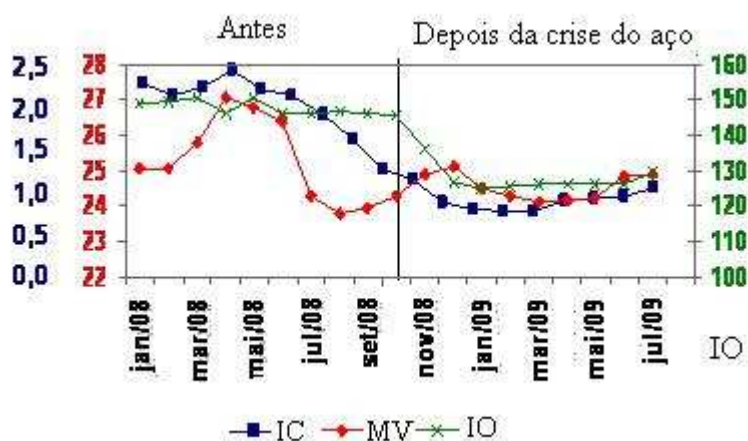


Figura 17– Correlação entre a temperatura de zona livre e o índice operacional.

## 5 CONCLUSÕES

Os fatores principais para verificar a formação de carbono são matéria volátil, temperatura da zona livre e os superfinos.

Estatisticamente, o superfino (<0,149mm) não apresentou correlação significativa com o índice de carbonização dos fornos, apesar da teoria e a prática indicarem que ele é um dos responsáveis pela formação do carbono e deve ser controlado.

O superfino na mistura é função da porcentagem de carvões mais friáveis. Carvões com superfino acima de 13% deverão ter a sua participação limitada nas misturas.

Melhorias de equipamentos (por exemplo: ar de desgrafitagem nas MD's) e equipes de decarbonização dos fornos são necessárias para controle.

## REFERÊNCIAS

- 1 FURUSAWA A., NAKAGAWA T, MAENO Y., KOMAKI I. Influence of Coal Moisture Control on Carbon Deposition in the Coke Oven Chamber. *ISIJ International*, V.38, N. 12, p 1320-1325, 1998.
- 2 ZYMLA V., HONNART F. Coke Oven Carbon Deposits Growth and Their Burning Off. *ISIJ International*, V.47, N. 10, p 1422-1431, 2007
- 3 NAKAGAWA T., NAITO M. Carbon Deposition Mechanism in Coke Oven Chamber – Influence of Fines Particles on Formation Ratio of Carbon Deposits. *Nippon Steel Technical Report*, N° 94, p. 63-68, 2006.
- 4 NAGATA M., NISHIOKA K., YOSHIDA S. A Simulation Model for the Estimation of Carbon Formation on Coke Oven Walls. *AIME / Ironmaking Conference Proceedings*, p. 355-362, 1985.
- 5 NAKAGAWA T., KATO K., NAITO M. Growth Rate of Carbon Deposit by Pyrolysis Reaction of Coal Carbonization Gas. *ICSTI / Ironmaking Conference Proceedings*, C224, p. 406-409, 2006.