

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ESTOCAGEM EM PILHAS NA QUALIDADE DE CARVÕES METALÚRGICOS¹

*Eduardo Marques de Oliveira*²

*Henriquison Magela Bottrel*³

*Antônio Eduardo Clark Peres*⁴

Resumo

A qualidade dos carvões que irão compor a mistura para produção de coque de alto-forno é fundamental para a obtenção de um coque dentro dos parâmetros exigidos. O objetivo deste estudo foi avaliar as variações na qualidade dos carvões utilizados na fabricação de coque para alto-forno durante o período de estocagem em pilhas, verificando itens como procedência e volatilidade destes carvões. A metodologia experimental consistiu na formação de pequenas pilhas de carvão e a coleta periódica de amostras nestas pilhas para determinação dos principais parâmetros de qualidade e sua variação durante o período de estocagem. De acordo com os resultados, os carvões sofrem alterações em seus parâmetros de qualidade durante o período de estocagem nos pátios. Com isso, ações de controle no processo de recebimento e estocagem de carvão nas usinas devem ser adotadas para minimizar estas alterações.

Palavras-chave: Carvão; Estocagem; Qualidade.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TIME STORAGE ON PILES IN THE QUALITY OF METALLURGICAL COALS

Abstract

The quality of coal used in the mix for production of coke used in blast furnaces is important for obtainment of a coke within characteristics demanded. The objectives of this study were to evaluate the variations in coals used in the production of coke for blast furnace during stockpiling evaluating items as origin, volatile matter and climate factors. The experimental program had involved the formation of little coal piles and their periodical sampling for determination of the main quality parameters and its variation during the time of stocking. The results showed that changes occur in coal quality parameters during the period of storage in coal yards. Hereby actions to control the process of receiving and stocking in the steel plants must be adopted to minimize these events.

Key words: Coal; Storage; Quality.

¹ *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.*

² *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Superintendência de Engenharia de Processos da Usiminas; Ipatinga, MG.*

³ *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.*

⁴ *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Ph.D., Departamento de Engenharia Metalúrgica de Materiais da EEUFMG; Belo Horizonte, MG.*

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade dos parâmetros de qualidade do coque metalúrgico é fundamental para a perfeita operação dos altos-fornos.⁽¹⁾ Esta estabilidade está ligada, entre outros fatores, à utilização de carvões com características bem definidas que, no processo de formação das misturas para produção de coque nas coquearias, produzirão um coque dentro das faixas especificadas para sua utilização.

O objetivo do trabalho é avaliar a influência do tempo de estocagem na qualidade dos carvões estocados e determinar uma taxa de deterioração dos carvões e o tempo máximo de estocagem nos pátios.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Oxidação de Carvões

O carvão exposto ao ar à temperatura ambiente é oxidado lentamente por uma reação exotérmica, ocorrendo simultaneamente fixação de oxigênio e perda de produtos de oxidação (CO_2 e H_2O). Quanto maior a temperatura maior o volume de oxigênio absorvido pelo carvão, sendo que a temperaturas inferiores a 60°C as moléculas de oxigênio são absorvidas fisicamente sobre a superfície do carvão e para temperaturas mais altas a absorção química se torna superior.⁽²⁾

O processo de oxidação pode ser dividido em três estágios, resultantes da produção progressiva de gases e das mudanças nas propriedades do sólido remanescente, particularmente na solubilidade:⁽³⁾

- *Oxidação superficial:* o carvão quando exposto a uma atmosfera oxidante, como o ar, é oxidado de tal forma que o oxigênio fica retido no carvão. A estrutura do carvão é levemente afetada, mas há um aumento definido no teor de oxigênio, bem como uma mudança nas suas propriedades coqueificantes;
- *Produção de substâncias solúveis em bases:* a oxidação continua e o teor de oxigênio aumenta para 35% a 40%. Uma grande fração do carvão é convertida em produtos solúveis em bases e insolúveis em ácidos, chamados de ácidos húmicos; e
- *Produção de substâncias solúveis em ácidos:* se o processo que produziu os ácidos húmicos continuar em condições mais rigorosas, os ácidos húmicos começarão a se degradar em ácidos de peso molecular menor, os quais são solúveis em soluções ácidas, neutras e alcalinas. Durante esse processo a percentagem de oxigênio começa a crescer; isso é acompanhado pela formação de CO_2 .

2.2 Efeitos da Oxidação de Carvões

2.2.1 Combustão espontânea

O termo combustão espontânea é usado para identificar o aparecimento de focos de fogo em estoques de carvão. O fogo ocorre sem aplicação direta de chama e é geralmente causado por processos de lenta oxidação, sob condições que não permitem dissipação do calor gerado. Este processo ocorre sempre que a taxa de geração de calor pela oxidação for maior que a taxa de remoção do calor gerado. Desse modo haverá um aumento na temperatura da pilha. Como a velocidade de reação de oxidação aumenta com a temperatura, duplica a cada aumento de 10°C ,

essa situação pode se repetir até que seja alcançada a temperatura de ignição do carvão.^(4,5)

2.2.2 Influência da oxidação na qualidade do coque

A oxidação do carvão ocasiona queda de propriedades plásticas, com redução da fluidez, e estreitamento da sua faixa plástica, que é o intervalo entre a sua temperatura de amolecimento e a de ressolidificação.⁽⁶⁾ Essa deterioração pode ter efeitos adversos em diferentes etapas do processo de fabricação de coque de alto-forno, tais como:

- redução das propriedades aglutinantes/coqueificantes;
- queda de resistência mecânica do coque;
- problemas de controle de densidade de carga;
- aumento da reatividade do coque;
- diminuição da taxa de coqueificação; e
- geração de finos e dificuldades de manuseio.

2.3 Fatores que Influenciam na Oxidação de Carvões

2.3.1 Distribuição granulométrica das pilhas

Na formação das pilhas de carvão, geralmente busca-se trabalhar com métodos capazes de remover o calor sensível que é liberado durante a oxidação. As partículas de carvão de maior tamanho, durante a formação das pilhas, deslizam para a sua região inferior ou “saia” da pilha, e as de menor tamanho situam-se em regiões intermediárias, ficando as partículas finas na superfície da pilha. Essa situação leva ao desenvolvimento de áreas que podem conduzir à combustão espontânea. É mostrada na Figura 1 essa segregação natural das partículas de carvão em função do seu tamanho durante a formação da pilha, bem como o sentido de penetração do ar na pilha. Observa-se que o ar se move facilmente na região inferior da pilha, mas enfrenta dificuldades para fluir na região central e superior da pilha.^(4,6)

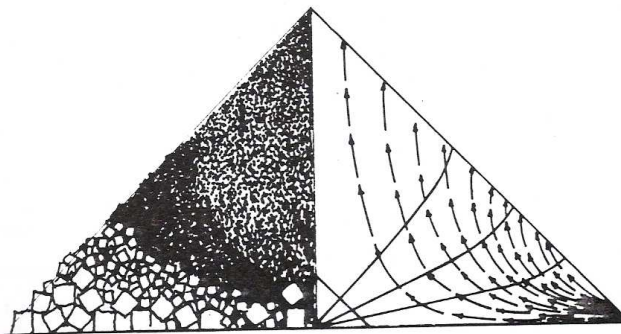


Figura 1 – Segregação de partículas em função do seu tamanho na pilha e sentido de penetração do ar.

2.3.2 Umidade

O teor de umidade de uma pilha de carvão está associado a elevação de temperatura devido ao calor liberado no processo de condensação do vapor d'água e/ou no processo de umedecimento do carvão, influenciando no processo de elevação de temperatura da pilha de carvão. O calor de condensação da água, nas temperaturas de estocagem é aproximadamente 560 cal/g e a condensação de uma pequena quantidade de vapor d'água é suficiente para aumentar o teor de umidade de 3 para 4% em peso, podendo elevar a temperatura do carvão em 17°C.⁽⁷⁾

2.3.3 Rank

A taxa de oxidação depende da composição química e da porosidade do carvão, sendo tanto mais rápida quanto mais baixa o *rank* do carvão. Assim, o carvão mais rico em oxigênio (*rank* mais baixo) e de maior porosidade se oxida mais facilmente.⁽⁴⁾

2.3.4 Tempo de Estocagem

A estocagem em pátios nas usinas a coque é uma prática obrigatória para assegurar o pleno funcionamento dos altos-fornos, pois podem ocorrer irregularidades ou interrupções no suprimento de carvões, além de possibilitar a utilização de carvões de fontes diversas na preparação das misturas de carvões.

3 METODOLOGIA

Visando avaliar variações nas características dos carvões para coqueria, de origens e volatilidades diferentes, recebidos em Ipatinga, foram formadas pilhas experimentais de carvão que permaneceram estocadas durante um período de 12 meses, nos quais foram realizadas amostragens periódicas, a cada 30 dias, para determinar as características físicas, químicas e metalúrgicas de cada carvão e estudar as variações observadas.

3.1 Definição dos Carvões

Os carvões utilizados nos testes são de origens e volatilidades diferentes, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1- Carvões utilizados no estudo

ORIGEM	TIPO	MATÉRIA VOLÁTIL (%)	NOMENCLATURA
USA	Alto Volátil	32	AVUSA
Austrália	Médio Volátil	28	MAAUS
Austrália	Médio Volátil	22	MBAUS
China	Médio Volátil	21	MBCHI

3.2 Formação das Pilhas

Após o recebimento dos carvões nos viradores de vagões da Usiminas, Usina de Ipatinga, e a formação das pilhas industriais, caminhões iniciaram o transporte do material para formação das pilhas experimentais, em local determinado dentro dos pátios de estocagem. Durante o transporte e descarga dos caminhões, uma pá carregadeira efetuava o manuseio do material visando a formação das pilhas, em forma de cone e com uma altura de cerca de 4 metros. As pilhas foram formadas totalizando aproximadamente 70 toneladas cada uma.

3.3 Amostragens

A caracterização de cada carvão foi realizada utilizando-se amostragens mensais em dois locais diferentes de cada pilha: uma na superfície e outra no centro da mesma, totalizando 10 amostras mensais de aproximadamente 25 kg cada.

A amostra de superfície foi constituída da coleta manual de incrementos em vários pontos ao longo da pilha (topo, meio e base) com auxílio de uma pá. A

amostra no centro da pilhas consistiu na coleta de incrementos em dois pontos distintos, a cerca de 1 m da superfície da pilha cada um, realizada com auxílio de um tubo PVC de 150 mm de diâmetro acoplado a uma empilhadeira.

Para a caracterização do coque gerado pelos carvões estocados e avaliação da evolução da qualidade, foram coletadas três amostras maiores, com cerca de 100 kg, juntamente com as demais, para enformamento em forno piloto. A primeira amostra foi coletada na formação das pilhas, a segunda amostra seis meses depois, e a última foi feita ao final do período de estocagem.

3.4 Caracterização dos Carvões

As amostras foram enviadas aos laboratórios da Área de Redução e do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para a realização das seguintes análises:

- Análise Elementar: C, H, O, N e S;
- Análise Imediata: Cinza e Matéria volátil;
- Poder Calorífico: Superior - PCS e Inferior - PCI;
- Composição Química da Cinza: Fe_2O_3 , Na_2O , ZnO , Al_2O_3 , SO_3 , K_2O , P_2O_5 , CaO , MgO , MnO , TiO_2 , SiO_2 ;
- Propriedades Aglutinantes: Plastometria Gieseler (fluidez), Dilatometria Audibert-Arnu (Contração e dilatação), *Caking Index*, FSI;
- Análise Petrográfica: Determinação de *rank* e análises de macerais.

Nas amostras maiores (amostras de 100 kg) foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade do coque:

- DI 150/15 - *Drum Index* - Resistência a Frio;
- CRI - *Coke Reactivity Index* - Índice de Reatividade;
- CSR - *Coke Strength after Reaction* – Resistência após Reação ao CO_2 .

3.5 Avaliação da Influência do Ponto de Amostragem do Carvão na Pilha

Visando identificar se os resultados obtidos nas amostragens na superfície e no centro das pilhas têm diferenças significativas, foi realizada uma análise dos dados utilizando o *software Statgraphics Plus®*, onde foram feitos testes de comparação de dados pareados de cada parâmetro amostrado, em cada carvão. Foi utilizada a estatística *t-student*, onde a hipótese nula formulada presume que há diferença entre os resultados no centro e na superfície das pilhas. A análise estatística fornece o resultado na forma de rejeitar ou aceitar esta hipótese nula ao nível de significância de 95%.

3.6 Influência do Tempo de Estocagem nas Propriedades dos Carvões

Visando identificar quais parâmetros analisados apresentam uma relação estatisticamente relevante com tempo de estocagem, foi realizada, utilizando o *Statgraphics Plus®*, uma análise de regressão linear. Essa análise permite mostrar se existe ou não dependência do tempo de estocagem com cada um dos parâmetros de caracterização avaliados. A análise de variância do modelo linear fornece o coeficiente *P-Value*, que deverá ser $< 0,05$, indicando dependência do parâmetro com o tempo de estocagem, com um nível de confiança de 95%.

3.7 Determinação do Tempo Máximo de Estocagem

Visando minimizar possíveis variações na qualidade dos carvões em função dos períodos de estocagem nos pátios, foi calculada a taxa de deterioração dos carvões objetivando determinar um período máximo de estocagem. Para isso foi utilizada a equação 1 em que, para cada parâmetro analisado, foi comparado o resultado inicial com os resultados ao longo do período de estocagem.

$$\text{Taxa de Deterioração} = \frac{| - 100 F_0 + 100 F_i |}{F_0} \quad (1)$$

Onde, Tx Deterioração = Taxa de deterioração (%)

F_0 = Resultado da amostra inicial do carvão (parâmetro selecionado)

F_i = Resultado da amostra no i-ésimo dia de amostragem do carvão (parâmetro selecionado)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados das Caracterizações dos carvões

Na Tabela 2 são mostrados os principais dados de caracterização dos carvões. Os resultados se referem às amostras realizadas na superfície das pilhas de cada carvão.

Tabela 2 – Principais resultados de caracterização dos carvões

	CARVÕES									
	AVUSA		MAAUS		MBAUS		MBCHI		BVUSA	
	MV (%)	Fluidez (ddpm)	MV (%)	Fluidez (ddpm)	MV (%)	Fluidez (ddpm)	MV (%)	Fluidez (ddpm)	MV (%)	Fluidez (ddpm)
Inicial	34,1	20438	26,6	4087	22,3	373	22,1	30		
2 ^a	31,0	7718	26,1	1177	21,2	133	22,9	20		
3 ^a	33,2	4948	25,7	735	22,0	112	23,4	12		
4 ^a	33,4	4490	26,1	917	22,8	129	22,6	5		
5 ^a	33,2	3434	26,2	504	21,6	114	21,6	3		
6 ^a	33,5	4146	26,0	386	21,3	62	22,8	4	18,1	21
7 ^a	32,4	1419	24,8	200	22,1	38	22,6	4	17,9	20
8 ^a	33,6	1343	26,1	176	22,1	48	21,8	3	18,2	12
9 ^a	33,4	1264	25,6	175	21,8	36	22,9	2	18,7	9
10 ^a	33,7	1295	26,1	139	21,3	30	22,9	2	18,5	10
11 ^a	31,0	1323	25,8	60	22,0	17	22,0	2	18,4	5
12 ^a	33,7	848	22,4	94	22,0	10	22,4	2	18,4	4
13 ^a	33,4	600	22,3	42	22,1	11	22,3	2	18,3	3

Por problemas operacionais, a pilha do carvão BVUSA foi formada 5 meses após as demais, o que levou ao menor número de resultados, sem entretanto afetar as análises realizadas.

4.2 Avaliação da Influência do Ponto de Amostragem do Carvão na Pilha

A análise estatística realizada, comparando os resultados obtidos no centro e na superfície das pilhas mostraram que, para os carvões AVUSA e MAAUS, os parâmetros poder calorífico, PCS e PCI, e a cinza, além de alguns de seus constituintes, as amostras seriam diferentes, tendo então influencia do ponto de amostragem.⁽⁵⁾ Apesar dos carvões de maior volatilidade serem mais suscetíveis à

oxidação devido sua maior capacidade de absorção de oxigênio, além de ser na superfície que ocorre o contato direto do carvão com o oxigênio presente no ar, a dispersão observada dos resultados permaneceu dentro da variação aceitável observada nos ensaios de laboratório. Já para o carvão MBAUS, os parâmetros da análise imediata, carbono e hidrogênio, mostraram diferenças entre as amostras. Os carvões MBCHI e BVUSA não foram observadas diferenças entre as amostras em nenhum dos parâmetros analisados.

4.3 Influência do Tempo de Estocagem nas Propriedades dos Carvões

Nas Tabelas 3 a 5 são mostrados os resultados do *P-Value* obtidos para cada grupo de parâmetros analisados em cada carvão, para amostras no centro e na superfície. Os valores que mostraram significância estatística, *P-Value* < 0,05, ou dependência do parâmetro analisado com o tempo de estocagem, estão em evidência nas tabelas.

Tabela 3 – Resultados de *P-Value* - análises químicas, poder calorífico e aglutinantes.

VALORES DE P-VALUE					
CARVÃO	AVUSA	MAAUS	MBAUS	MBCHI	BVUSA
Parâmetros de Análise Química e Poder Calorífico					
Amostra no Centro					
Carbono	0,150	0,561	0,478	0,506	0,221
Hidrogênio	0,034	0,733	0,216	0,360	0,689
Oxigênio	0,907	0,004	0,997	0,280	0,118
Nitrogênio	0,095	0,625	0,067	0,143	0,224
Enxofre	0,501	0,509	0,622	0,342	0,321
Cinza	0,209	0,561	0,131	0,100	0,368
Mat. Volátil	0,239	0,094	0,442	0,400	0,010
PCS	0,212	0,025	0,744	0,135	0,612
PCI	0,388	0,040	0,865	0,062	0,508
Amostra na Superfície					
Carbono	0,181	0,020	0,253	0,147	0,019
Hidrogênio	0,056	0,785	0,223	0,821	0,315
Oxigênio	0,071	0,107	0,866	0,380	0,002
Nitrogênio	0,249	0,781	0,247	0,170	0,263
Enxofre	0,003	0,285	0,831	0,295	0,109
Cinza	0,664	0,116	0,282	0,246	0,270
Mat. Volátil	0,852	0,098	0,930	0,588	0,509
PCS	0,007	0,003	0,035	0,793	0,015
PCI	0,016	0,001	0,028	0,387	0,031
Parâmetros Aglutinantes					
Amostra no Centro					
Fluidez	0,040	0,002	0,002	0,035	0,012
Contração	0,043	0,842	0,036	0,160	0,345
Dilatação	0,000	0,000	0,005	0,018	0,003
Caking Index	0,053	0,277	0,312	0,007	0,004
FSI	0,096	0,943	0,978	0,051	0,004
Amostra na Superfície					
Fluidez	0,004	0,007	0,001	0,027	0,006
Contração	0,114	0,455	0,092	0,124	0,100
Dilatação	0,000	0,000	0,000	0,007	0,001
Caking Index	0,060	0,104	0,121	0,127	0,055
FSI	0,016	0,256	0,189	0,241	0,016

Tabela 4 – Resultados de *P-Value* – análise química da cinza e análise petrográfica

CARVÃO	AVUSA	MAAUS	MBAUS	MBCHI	BVUSA
Parâmetros de Análise Química da Cinza					
Amostra no Centro					
Fe ₂ O ₃	0,938	0,959	0,032	0,568	0,460
Na ₂ O	0,980	0,971	0,182	0,219	0,685
ZnO	0,865	0,334	0,255	0,715	0,102
Al ₂ O ₃	0,747	0,177	0,116	0,450	0,253
SO ₃	0,501	0,013	0,626	0,154	0,043
K ₂ O	0,686	0,496	0,149	0,265	0,183
P ₂ O ₅	0,001	0,724	0,479	0,501	0,689
CaO	0,892	0,664	0,454	0,022	0,455
MgO	0,259	0,011	0,375	0,178	0,154
MnO	0,672	0,354	0,672	0,699	0,787
TiO ₂	0,695	0,569	0,923	0,185	0,409
SiO ₂	0,769	0,958	0,283	0,573	0,227
Amostra na Superfície					
Fe ₂ O ₃	0,047	0,055	0,031	0,226	0,052
Na ₂ O	0,706	0,799	0,817	0,195	0,613
ZnO	0,504	0,008	0,384	0,394	0,320
Al ₂ O ₃	0,186	0,041	0,774	0,497	0,628
SO ₃	0,295	0,671	0,073	0,166	0,428
K ₂ O	0,039	0,686	0,359	0,230	0,694
P ₂ O ₅	0,411	0,051	0,632	0,145	0,425
CaO	0,074	0,257	0,058	0,948	0,887
MgO	0,102	0,141	0,042	0,205	0,165
MnO	0,245	0,011	0,241	0,342	0,385
TiO ₂	0,040	0,125	0,064	0,102	0,378
SiO ₂	0,052	0,163	0,026	0,064	0,476
Parâmetros de Análise Petrográfica					
Amostra no Centro					
Vitrinita	0,053	0,079	0,124	0,139	0,385
Vit Oxidada	0,556	0,542	0,045	0,523	0,478
Fusinita	0,747	0,296	0,144	0,130	0,449
SemFusinita	0,033	0,017	0,029	0,235	0,269
Micrinita	0,789	0,092	0,009	0,417	0,659
Reativos	0,087	0,141	0,238	0,111	0,454
Inertes	0,113	0,141	0,239	0,111	0,454
Rank	0,069	0,019	0,062	0,855	0,619
Amostra na Superfície					
Vitrinita	0,444	0,067	0,644	0,464	0,251
Vit Oxidada	0,803	0,118	0,016	0,754	0,502
Fusinita	0,921	0,081	0,062	0,345	0,156
SemFusinita	0,392	0,026	0,920	0,418	0,053
Micrinita	0,859	0,578	0,027	0,280	0,558
Reativos	0,547	0,116	0,498	0,493	0,389
Inertes	0,547	0,109	0,498	0,493	0,389
Rank	0,003	0,007	0,230	0,336	0,371

Tabela 5 – Resultados de *P-Value* - qualidade física do coque gerado

CARVÃO	AVUSA	MAAUS	MBAUS	MBCHI	BVUSA
Parâmetros do Coque Enfornado					
DI 150/15	0,156	0,156	0,356	0,014	0,858
CRI	0,281	0,142	0,036	0,914	0,419
CSR	0,310	0,036	0,913	0,391	0,485

Analisando os resultados obtidos foi observado que alguns parâmetros apresentam maior correlação com o tempo. Já para outros parâmetros, esta correlação não é tão significativa.

Nos parâmetros de análise química, imediata e elementar, e poder calorífico, as ocorrências mais significativas de valores de *P-Value* abaixo de 0,05 foram para os carvões AVUSA e MAAUS, que apresentaram influência significativa do tempo de estocagem nos parâmetros PCS e PCI, na superfície das pilhas, e em alguns parâmetros químicos do carvão MAAUS.

Nos parâmetros de propriedades aglutinantes, os valores obtidos mostram uma significativa influência do tempo de estocagem, sendo que os parâmetros fluidez e dilatação apresentaram *P-Value* abaixo de 0,05 em todos os carvões amostrados, tanto nas amostragens no centro da pilhas quanto na superfície.

Nos parâmetros de análise química da cinza e de análise petrográfica, não houve ocorrências significativas de valores estatísticos apontando para uma dependência com o tempo de estocagem.

Nos parâmetros de qualidade do coque gerado a partir dos carvões estocados, o DI 150/15 no carvão MBCHI, o CRI no carvão MBAUS e o CSR no carvão MAAUS apresentaram dependência com o tempo de estocagem (*P-Value* < 0,05). Para os demais carvões os resultados não apontaram para uma dependência com o tempo de estocagem.

4.4 Determinação do Tempo Máximo de Estocagem

A determinação do tempo de estocagem para cada carvão foi obtido através do cálculo da taxa de deterioração ao longo do período de estocagem. Para o cálculo foram utilizados os valores obtidos para o parâmetro que apresentou maior influência do tempo de estocagem. Conforme observado na análise estatística, a fluidez de todos os carvões apresentou variação acentuada durante o período de estocagem. Portanto a estimativa de tempo máximo de estocagem teve como base os valores de fluidez de cada um dos carvões amostrados.

Considerou-se que o tempo máximo de estocagem do carvão no pátio seria alcançado quando a taxa de deterioração da fluidez atingisse 50% em relação à amostra inicial.

Com os dados obtidos através da equação (1) foram traçadas curvas de deterioração de cada carvão utilizando a função logarítmica, obtendo-se assim as equações das curvas geradas. Pelas equações das curvas, no ponto onde a taxa de deterioração é de 50%, obtêm-se o número de dias em que ocorrerá a máxima perda de propriedades do parâmetro em que se baseou o estudo (fluidez).

Na Figura 2 é possível observar as curvas de deterioração dos carvões durante a estocagem.

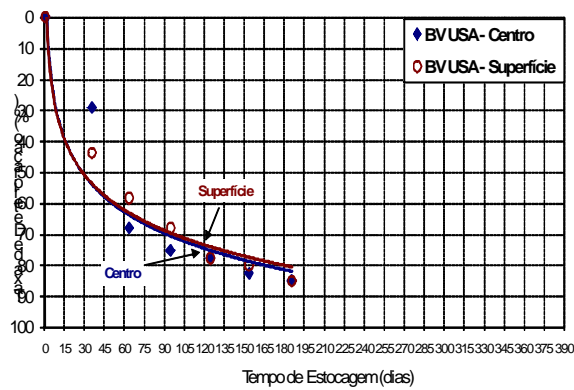
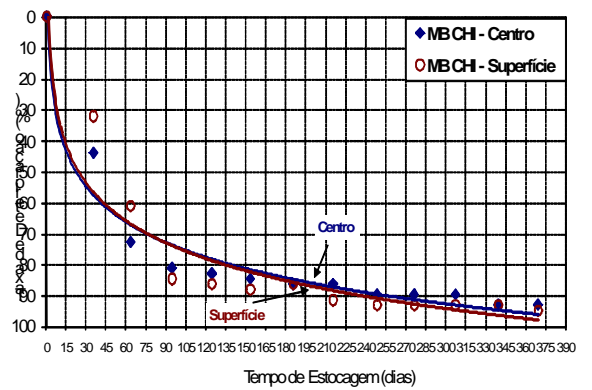
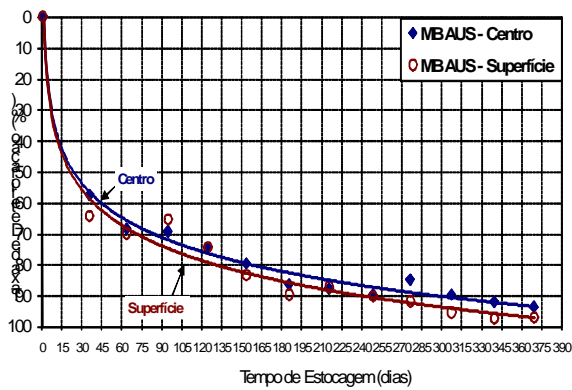
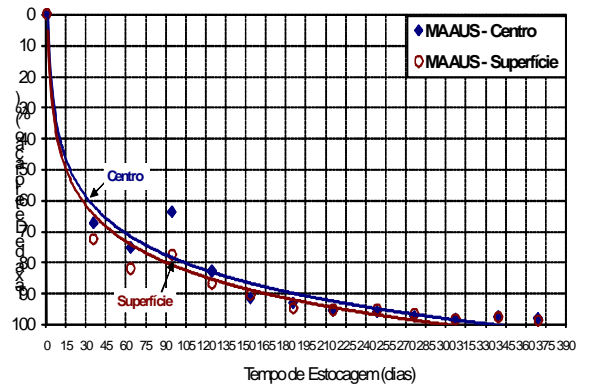
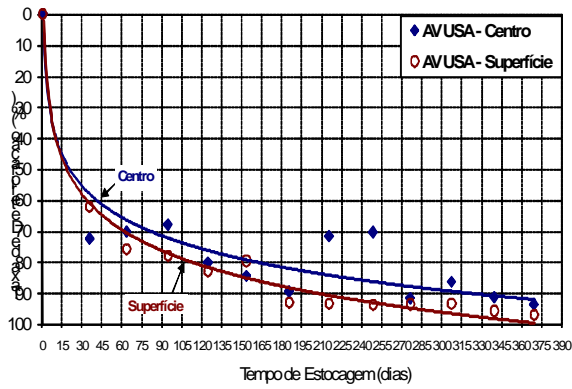


Figura 2 - Taxa de deterioração com base na fluidez dos carvões amostrados.

Na Tabela 6 são mostrados os resultados, em número de dias, do tempo máximo de estocagem para cada tipo de carvão.

Tabela 6 – Tempo máximo de Estocagem

Carvão	Centro			Superfície		
	Fórmula da Curva	R2	Tempo (dias)	Fórmula da Curva	R2	Tempo (dias)
AVUSA	$y=14,51\ln(x)+6,12$	0,885	20,55	$y=16,46\ln(x)+2,24$	0,985	18,21
MAAUS	$y=16,97\ln(x)+1,24$	0,963	17,66	$y=16,60\ln(x)+5,26$	0,973	14,78
MCAUS	$y=15,77\ln(x)+0,39$	0,991	23,22	$y=16,35\ln(x)+0,24$	0,979	20,94
MBCHI	$y=16,37\ln(x)-0,79$	0,959	22,23	$y=17,57\ln(x)-6,15$	0,908	24,44
BVUSA	$y=16,86\ln(x)-6,05$	0,883	27,76	$y=16,12\ln(x)-3,84$	0,964	28,22

Pode-se observar que os períodos mais curtos são para os carvões de alta volatilidade, justamente os carvões que apresentam maior fluidez e que, portanto sofrem mais com a perda de características durante a estocagem. Verificou-se uma variação de 14 a 28 dias para os carvões analisados, sendo que o menor período de estocagem foi para o carvão MAAUS.

5 CONCLUSÕES

Em relação ao ponto de amostragem, não foram observadas diferenças significativas nas amostragens feitas no centro e na superfície. As pequenas divergências observadas em alguns parâmetros, de determinados carvões, estão dentro da variação aceitável dos ensaios. Observou-se que, nas curvas de deterioração de fluidez dos carvões, as variações dessa propriedade ocorrem mais rapidamente na superfície. Com isso a adoção do procedimento de amostragem nesse ponto das pilhas pode ser considerada eficiente para a correta caracterização do material estocado.

Com relação à influência do tempo de estocagem nas características dos carvões, verificou-se que ocorrem alterações nos parâmetros de qualidade dos carvões e que essas alterações variam em função das características de cada carvão. As variações mais significativas foram observadas nos carvões de maior volatilidade (carvões de baixo *rank*) AVUSA e MAAUS. Os parâmetros que apresentaram maiores alterações foram os parâmetros aglutinantes (fluidez e dilatação).

Quanto à determinação do tempo máximo de estocagem dos carvões, foi possível estimar um período máximo de permanência de carvões metalúrgicos nos pátios sem que perdas significativas ocorram em suas características metalúrgicas. No estudo foram utilizados os dados do parâmetro fluidez, que apresentou maior variação com o tempo de estocagem.

O conhecimento prévio do estágio das alterações das propriedades dos carvões possibilita uma atuação mais precisa dos responsáveis pela qualidade do coque, o que leva a produção de um coque capaz de atender plenamente às solicitações do alto-forno visando uma marcha operacional estável no reator. Por isso é de grande importância que sejam evitados tempos mais longos de permanência do carvão em pátios, através de um controle rígido nos estoques existentes.

REFERÊNCIAS

- 1 REIS, H. M. B.; ULHÔA, M. B.; CORRÊA, G. – Qualidade de Coque para Alto-Forno. XXX Seminário de Redução de Minério de Ferro da ABM; Belo Horizonte, MG, 29 de novembro a 01 de dezembro, 1999.
- 2 LOISON, R.; FOCH, P.; BOYER, A. - Coke Quality and Production – Butterworths & Co, ISBN 0-408-02870-x, 1989, p.19.
- 3 COAL FIRE RESEARCH – A SINO – German Initiative – Understanding self-ignition of coal, Work Package 2000; Preconditions & Spontaneous Combustion, 2000.
- 4 VILLANOVA, R. L.; OSÓRIO, E.; VILELA, A. C. F. – Influência da Oxidação e da Taxa de Aquecimento nas Propriedades Plásticas de Carvões Coqueificáveis e na Reatividade de Semi-Coques – XXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro, Santos, Dezembro, 1996.
- 5 KEATING, J., MAHONEY, M., SAKUROVS, R.- Coal fluidity, stockpiling and coke quality – ACARP Project C10055 – BHP Billiton Ltd. – ACN 004 028 077 – May/2003.
- 6 PIATINICKI, S. – Algumas Considerações sobre Estocagem de Carvões Fósseis – Carvão _ Informação e Pesquisa v.7 nº19 Jan/Mar, 1984, p. 15.1-15.12.
- 7 BLAZEK, C. – The Influence of Moisture on the Spontaneous Combustion – Benetech Report – Benetech Inc. March, 2001.