

TESTES REALIZADOS DURANTE O ENCHIMENTO DO AF-1 DA AÇOMINAS (1)

Luiz Cláudio Lanza Silva (2)
Mickio Miyazaki (3)
Márcio Teixeira Alves (4)

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os testes realizados durante o enchimento do AF-1 da AÇOMINAS, objetivando colher informações para orientar a melhor operação do sistema de distribuição de carga de modo a se ter uma marcha estável, menor consumo de combustível e maior vida útil do equipamento. Finalmente, são apresentados os resultados e algumas modificações introduzidas no sistema à partir da análise dos mesmos.

-
- (1) Contribuição Técnica ao Seminário COMIN/COMAP
 - (2) Engenheiro de Metalurgia de Alto Forno da Divisão de Metalurgia da Redução e Carboquímicos - DMRC (AÇOMINAS)
 - (3) Técnico de Metalurgia de Alto Forno da Divisão de Metalurgia da Redução e Carboquímicos - DMRC (AÇOMINAS)
 - (4) Engenheiro Chefe de Seção do Alto Forno - SALF (AÇOMINAS).

1 - INTRODUÇÃO

Tendo em vista a importância da distribuição de carga na operação de um alto forno, no que diz respeito à estabilidade de marcha, consumo de combustível e vida útil do mesmo, foram programados vários testes a serem executados durante o enchimento do alto forno nº1 da AÇOMINAS, visando colher informações para orientação da operação do equipamento de distribuição de carga.

O enchimento do alto forno, se deu no período de 08/06 à 23/06/86 e os testes realizados durante o mesmo foram executados pelos operadores da Seção de Alto Forno, coordenados por um engenheiro e um técnico do Controle Metalúrgico do Alto Forno. A equipe de coordenação teve também o apoio de um engenheiro da Kawasaki Steel Corporation(KSC), cuja assistência técnica foi contratada pela AÇOMINAS, para acompanhamento dos testes e orientação da operação futura.

2 - DESENVOLVIMENTO

Para a obtenção de todas as informações consideradas neces
sárias para o orientação da operação do equipamento de dis
tribuição de carga, foram programados sete testes distintos,
os quais são descritos a seguir:

2.1 - Determinação das trajetórias dos materiais no interi or das tremonhas do topo.

No sistema de carregamento tipo "topo sem cone" ocor
re uma segregação granulométrica no interior das tre
monhas do topo o que provoca uma segregação no interi
or do forno.

Visando minimizar a segregação granulométrica no inte
rior das tremonhas, previu-se a instalação de um divi
sor de fluxo, no caso um "Stone Box", no interior das
mesmas.

Para a instalação do "Stone Box" é necessário que se
conheça a trajetória de queda do sínter e do coque no
interior de cada uma das tremonhas. Programou-se en
tão testes para determinação destas trajetórias, os
quais foram realizados na carga 1, 2, 59 e 61. A fig.
1 mostra os pontos A, B e C da trajetória do sínter
na tremonha A.

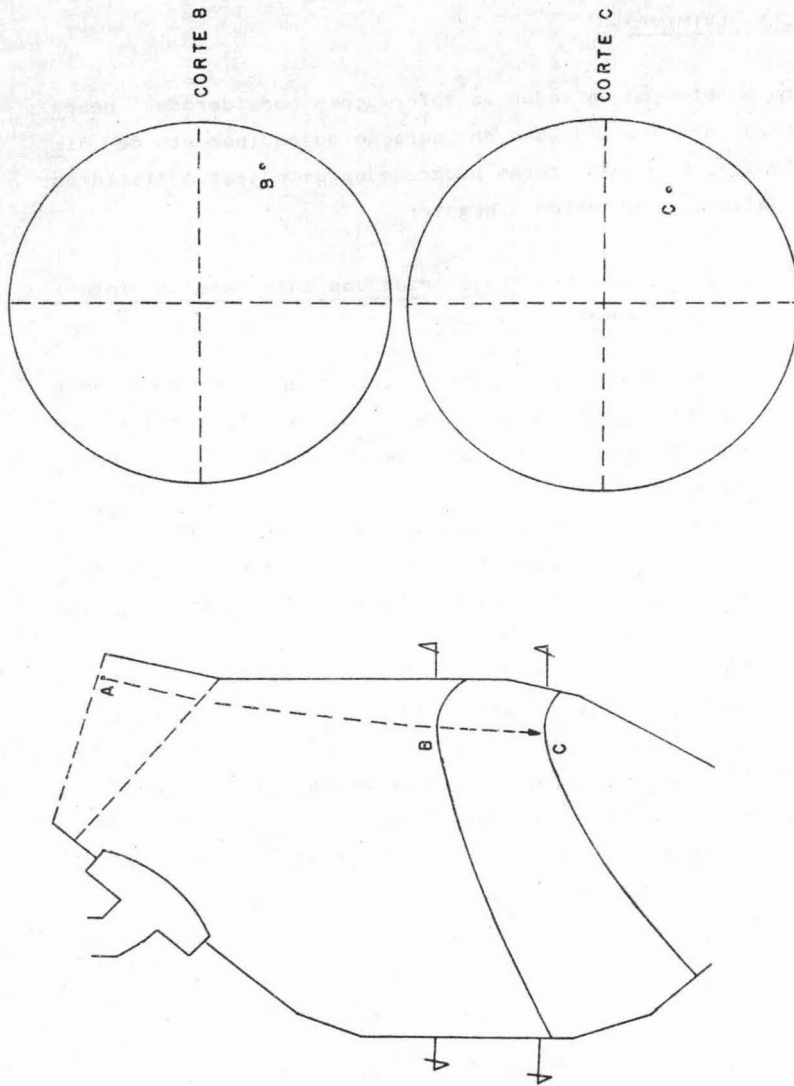


FIG. 1. - TRAJETÓRIA DO SINTER NA TREMONHA A

2.2 - Determinação da vazão de descarga

Um dos principais controles a ser exercido durante a operação do sistema de carregamento tipo topo sem cone, é o controle de vazão de descarga dos materiais de modo a se ter uma distribuição uniforme de carga. Para a determinação da vazão de descarga do material instalou-se um registrador de peso conectado às células de carga das tremonhas do topo. Com este registro, determinou-se a vazão de descarga tanto do controle quanto do síter para todos os ângulos da controladora de fluxo utilizados durante o enchimento do forno, dividindo o peso do material pelo tempo de descarga.

A fig.2 mostra a relação encontrada entre a abertura da controladora de fluxo e a vazão de descarga.

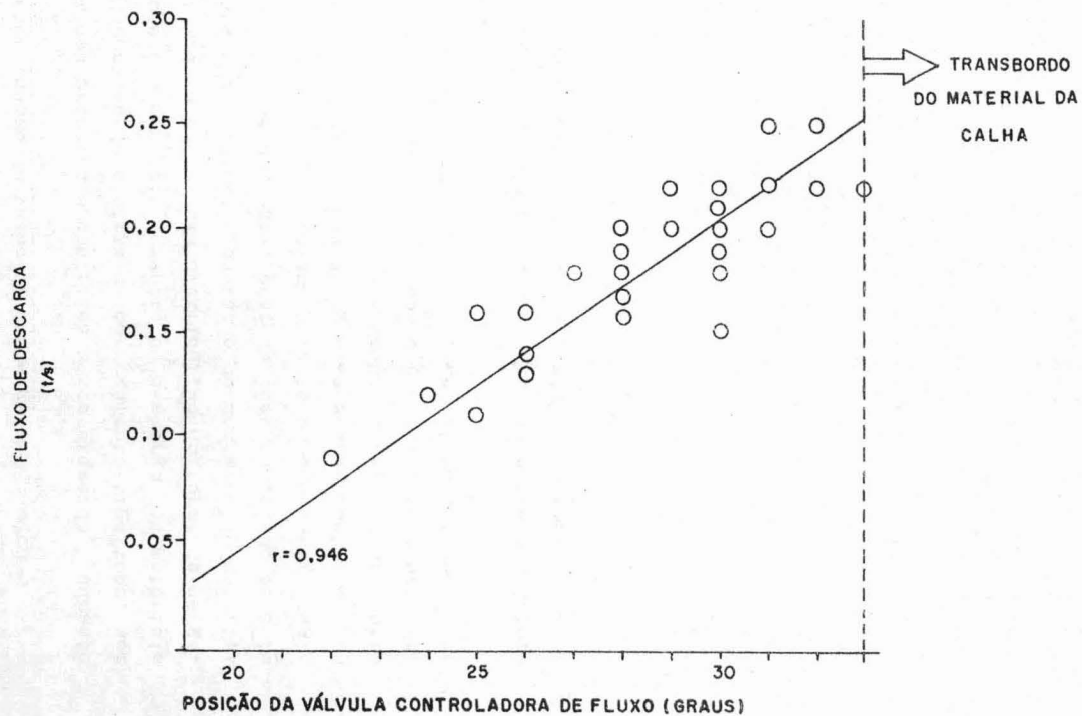


FIG. 2 - FLUXO DE DESCARGA DO COQUE

2.3 - Determinação das trajetórias dos materiais no interior do forno.

O objetivo deste teste foi colher dados para determinação das equações das trajetórias de queda dos materiais no interior do alto forno, para as diversas inclinações da calha rotativa.

Para a determinação de uma trajetória é necessário que se conheça pelo menos 3 pontos da mesma. Como um dos pontos é definido pela extremidade inferior da calha rotativa, instalou-se duas fileiras radiais de caixas justapostas, em direções diferentes, sendo 7 caixas no nível de carga zero e oito; 1,55m abaixo deste nível.

Os resultados obtidos neste teste mostraram que para as posições 1 e 2 da calha, 51° e 49° respectivamente, o material batia na parede do alto forno em nível muito alto, o que é indesejável para o controle da distribuição de carga através do sistema de carregamento tipo topo sem cone. Modificou-se então os ângulos de inclinação da calha para as posições de 2 a 11. A inclinação da calha na posição 1 foi mantida por este ser o ângulo de repouso da mesma, levando assim à não utilização desta posição na operação de distribuição de carga.

As equações da trajetória para as novas inclinações da calha rotativa, foram então determinadas pela interpolação dos pontos obtidos durante o teste com as inclinações originais.

A tabela I mostra as equações das trajetórias do sinter para as posições de 2 a 11 da calha rotativa e a fig.3 mostra estas trajetórias.

Posições (Nº)	Inclinação (graus)	Euações das trajetórias
2	47,0	$Y = 0,4722 X^2 - 0,7663 X + 3,2335$
3	45,5	$Y = 0,4146 X^2 - 0,4643 X + 3,0089$
4	43,5	$Y = 0,4444 X^2 - 0,5353 X + 3,2004$
5	41,5	$Y = 0,4368 X^2 - 0,3538 X + 3,1041$
6	39,0	$Y = 0,5166 X^2 - 0,5677 X + 3,4231$
7	36,5	$Y = 0,6361 X^2 - 0,8800 X + 3,7670$
8	33,5	$Y = 0,8129 X^2 - 1,1362 X + 3,9766$
9	30,5	$Y = 1,1927 X^2 - 1,7684 X + 4,2992$
10	26,5	$Y = 1,6607 X^2 - 1,9936 X + 4,2470$
11	22,5	$Y = 2,1051 X^2 - 1,6105 X + 3,9375$

TABELA I - EQUAÇÕES DE TRAJETÓRIA DO SINTER

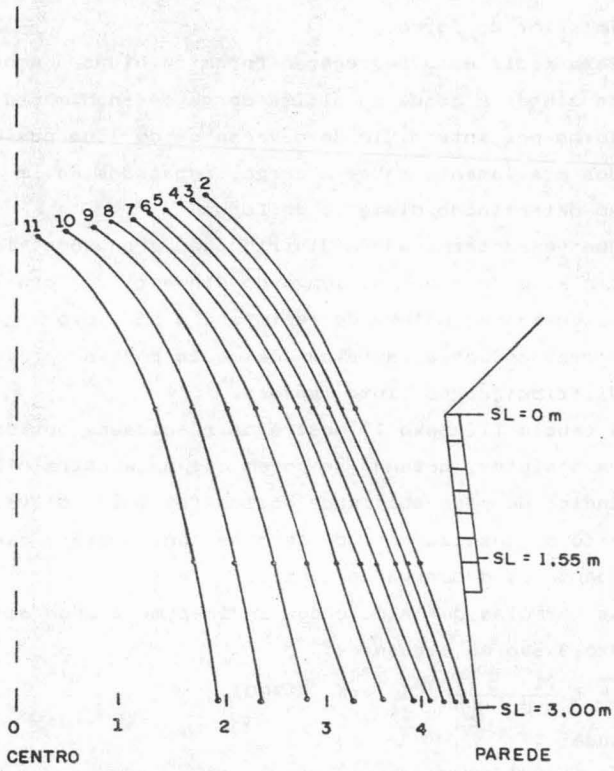


FIG. 3 TRAJETÓRIA DO SINTER

2.4 - Determinação da distribuição granulométrica

Como citado anteriormente, uma das principais características do sistema de carregamento tipo topo sem cone, é a segregação granulométrica do material no interior do forno.

Para medir esta segregação foram colhidas amostras de sínter e coque na última carga de enchimento do forno por intermédio de nove sacos de lona posicionados previamente sobre a carga, espaçados de 1m em um determinado diâmetro do forno.

Uma vez determinada a distribuição granulométrica do sínter e do coque, ao longo do diâmetro do forno, calculou-se os índices de resistência ao fluxo gasoso correspondentes, através dos quais pode-se prever a distribuição do fluxo gasoso.

A tabela II (anexo 1) mostra os resultados obtidos para o sínter, notando-se porém que na amostra nº7, o índice de permeabilidade obtido foi muito elevado devido ao deslizamento do saco de lona sobre a carga, quando da descarga do sínter.

As fórmulas de cálculo dos índices mostrados no quadro 3 são as seguintes:

$$\bar{I} = \frac{(1 - \bar{\epsilon})^2}{g D_p^2 \bar{\epsilon}^3} (K_1 + K_2 \times 300)$$

Onde:

\bar{I} = índice de resistência ao fluxo gasoso

g = aceleração da gravidade (980 cm/seg²)

$\bar{\epsilon}$ = índice de vazios = $\bar{\epsilon}_0 (1 - \Delta \bar{\epsilon})$

Dp = diâmetro médio harmônico = $1 / \left(\sum_{i=1}^n w_i / d_i \right)$.

$$K_1(\text{sínter}) = 260 \cdot D_p^{0,84}$$

$$K_1(\text{coque}) = 450 D_p^{0,84}$$

$$K_2(\text{sínter}) = 1,2 D_p^{0,34}$$

$$K_2(\text{coque}) = 2,2 D_p^{0,84}$$

$$\xi = \xi_0 (1 - \Delta\xi)$$

$$\xi_0 \text{ coque} = 0,153 \log D_p + 0,418$$

$$\xi_0 \text{ sinter} = 0,403 D_p^{0,14}$$

$$\Delta\xi \text{ coque} = 1,225 \times 10^{-3} \text{ ISP}^{0,416}$$

$$\Delta\xi \text{ sinter} = 1,64 \times 10^{-3} \text{ ISP}^{1,006}$$

$$\text{ISP} = 100 \sqrt{\text{IS} \cdot \text{Ip}}$$

$$\text{IS} = D_p^2 \cdot W_i \left(\left(\frac{1}{d_i} \right) - \left(\frac{1}{D_p} \right) \right)^2$$

$$\text{Ip} = \left(\frac{1}{D_p} \right)^2 \cdot W_i \cdot (d_i - D_p)^2$$

W_i = % em peso de cada faixa granulométrica

$$d_i = \sqrt{d_a \times d_b}$$

d_a = Tamanho mínimo da faixa granulométrica

d_b = Tamanho máximo da faixa granulométrica.

2.5 - Determinação do perfil de carga

Após conhecer a trajetória do coque e do sinter para cada posição da calha rotativa, é necessário conhecer o perfil no qual a carga se acomoda no interior do forno, partindo-se de um padrão de carregamento definido.

Portanto, para a determinação de perfil de carga era necessário que o nível de carga a ser utilizado em operação normal, e que o padrão de carregamento, ou seja, as posições da calha rotativa para início de operação, já estivessem definidos. Programou-se então, este teste para as três últimas cargas do enchimento. O teste consistiu em determinar a distância entre a carga e o "nível de carga zero", de meio em meio metro ao longo de um determinado diâmetro da goela do forno.

A fig.4 e tabela III(anexo 2) mostram os resultados obtidos neste teste e no teste de determinação de espessura de camada, o qual será comentado a seguir.

2.6 - Determinação da espessura de camada

Através dos testes de determinação do perfil de carga, é possível determinar a espessura de camada das duas últimas cargas, porém, não é possível determinar o efeito de deformação do perfil quando do carregamento de um material sobre outro. Para determinar a espessura real da camada e conseqüentemente quantificar o efeito da deformação de perfil, realizou-se nas três últimas cargas de sinter e duas últimas de coque a medição da espessura de camada, ao longo do mesmo diâmetro em que foi realizado o teste de perfil.

Esta medição foi realizada utilizando-se lança cujo croquis é mostrado na fig.5. Quando da inserção desta lança na camada de coque, o contato entre as duas placas de cobre era fechado, o que era detectado através de um multiteste. Quando a primeira placa de cobre penetrava na camada de sinter o contato se desfazia, determinando assim a espessura da camada de coque. A espessura da camada de sinter foi também determinada baseando-se no princípio da não condutibilidade elétrica do mesmo.

A tabela III (anexo II) e a fig.4, mostram os resultados obtidos no teste.

Pode-se notar na fig.4 que ocorre um rolamento acentuado de coque da periferia para o centro do forno, quando do carregamento de sinter. No caso do sinter nota-se que este rolamento também ocorre, porém com menor intensidade, e que o sinter deslocado da parede do forno não chega a atingir o centro, parando na região intermediária.

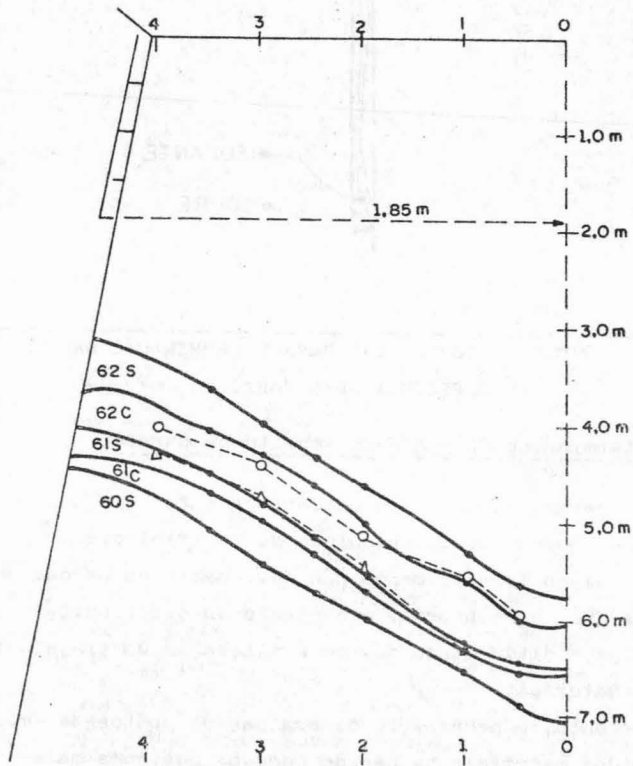


FIG. 4 MEDIÇÕES DE PERFIS E DISTRIBUIÇÕES
DE ESPESSURAS DE CAMADAS

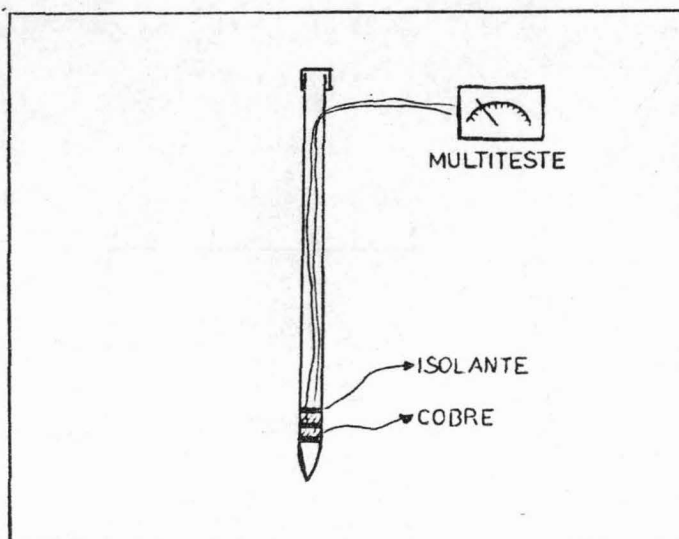


FIG.5 - DISPOSITIVO PARA DETERMINAÇÃO DA
ESPESSURA DE CAMADA.

2.7 - Determinação do ponto de impacto na parede

Na operação do sistema de carregamento tipo topo sem cone, quando da distribuição do material próximo à parede do forno, o mesmo não deve bater na parede uma vez que, caso ocorra, o controle da distribuição de carga, é dificultado devido a alteração da trajetória do material.

Portanto, é necessário determinar os pontos de impacto dos materiais na parede para as posições mais inclinadas da calha rotativa, de modo a determinar o nível de carga mínimo que se deve trabalhar para evitar que o material bata na parede.

Programou-se então um teste para determinar o ponto de impacto do coque e sinter quando da utilização da posição nº1 da calha rotativa. Este teste consistiu

em fixar uma chapa de aço de 3m de comprimento na região das chapas de desgaste da goela do forno. Esta chapa foi pintada momentos antes de jogar o material, de modo que ao descarregar o material a mesma ficasse marcada determinando assim o ponto de impacto. Como mostra a foto nº1, o material ao ser descarregado chapiscou toda a chapa, não sendo possível determinar com precisão o ponto de impacto do material na parede.

Apesar de não se conseguir o esperado com este teste, o nível de carga mínimo que se deve trabalhar, foi determinado através dos testes de trajetória citados anteriormente.

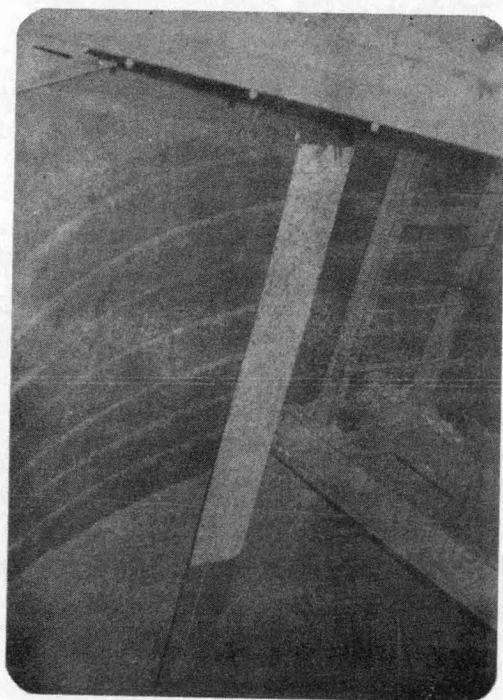


FOTO Nº1

3 - CONCLUSÕES

Os testes realizados durante o enchimento do AF-1 da AÇOMINAS foram executados com pleno êxito, levando às seguintes conclusões:

- As trajetórias do sinter e do coque são diferentes em cada uma das tremonhas do topo, levando assim a necessidade de projetos diferentes para instalações do divisor de fluxo "Stone Box" em cada uma das tremonhas.
- A utilização de ângulo de abertura da válvula controlado para de fluxo acima de 30° durante a descarga do coque leva a um transbordamento lateral deste material na calha rotativa. Não se recomenda portanto a utilização de aberturas superiores e 30° na descarga do coque.
- A utilização das posições de inclinação 1 e 2 da calha rotativa levou a uma projeção do material sobre a parede, tornando-se portanto necessário alterar os ângulos de inclinação da calha recomendadas pelo fabricante.
- O fenômeno de rolamento dos materiais é mais acentuado quando da descarga do sinter sobre o coque que na descarga do coque sobre o sinter.
- O índice de resistência ao fluxo gasoso decresce da parede para o centro do forno pela existência de segregação granulométrica no interior do forno devido ao rolamento do material grosso da parede para o centro.
- Apesar do decréscimo do índice de resistência ao fluxo gasoso da parede para o centro, o mesmo cresce na região mais central pela existência de uma concentração de finos no final de descarga devido à segregação granulométrica que ocorre no interior da tremonha.
Este fenômeno pode ser corrigido pela instalação do "Stone Box".

TABELA II - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA E CÁLCULO DO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PERMEABILIDADE DO SÍNER

Nº da amostra		1	2	3	4	5
Distância ao centro do alto forno (mm)		4000	3000	2000	1000	0
Granulometria (cm)	media					
	di (cm)	%	%	%	%	%
+ 5,0	5X6,5	0,42	0,0	4,03	5,86	8,22
2,5 - 5,0	3,536	1,45	1,34	41,28	57,41	38,76
1,0 - 2,5	1,581	19,53	26,40	29,19	27,47	35,39
0,5 - 1,0	0,707	54,02	54,99	14,77	4,32	8,79
+ 0,5	0,5X0,2	24,59	17,27	10,74	4,94	8,84
	DP	0,5986	0,6689	1,1665	1,7736	1,330
	ISP	61,117	49,681	161,317	109,35	155,486
	E	33,65	34,92	29,95	35,62	30,92
	\bar{I}	15,51	11,33	9,25	2,55	6,77

-- ANEXO II --

TABELA III - ESPESSURAS DE CAMADAS DE COQUE E SÍNTER

Distância Medidas	4000 (mm)	3500 (mm)	3000 (mm)	2500 (mm)	2000 (mm)	1500 (mm)	1000 (mm)	500 (mm)	0 (mm)
Medid.sint 60	340	-	290	-	320	-	260	-	-
Perf.Sint 60	-	5140	5460	5720	5970	6330	6530	6930	7050
Perf.Coque 61	-	4720	4960	5340	5720	6030	6330	6510	6510
Calc.Coque 61	-	420	500	380	250	300	200	420	540
Medid.Sint 61	380	-	510	-	460	-	780	-	1280
Diferença	-	-	-10	-	-210	-	-580	-	-740
Perf.Sint. 61	-	4530	4870	5150	5550	5920	6290	6480	6500
Calc.Sint. 61	-	190	90	190	170	110	40	30	10
Medid.Sint.61	440	-	200	-	240	-	-	-	-
Diferença	-	-	-110	-	-70	-	+40	-	+10
Perf.coque 62	-	4070	4260	4630	5030	5430	5590	6030	6030
Calc.Coque 62	-	460	610	520	520	490	700	450	470
Medid.Coque 62	420	-	480	-	420	-	710	-	-
Diferença	-	-	-130	-	-100	-	+10	-	-
Perf.Sint 62	-	3650	3970	4350	4600	4940	5310	5640	5760
Calc.Sint. 62	-	420	290	280	430	490	280	390	270
Medid.Sint.62	660	-	450	-	500	-	280	-	340
Diferença	-	-	-160	-	-70	-	-	-	+50