

INFLUÊNCIA DA BASE DE COQUE
NO FLUXO GASOSO DO ALTO-FORNO⁽¹⁾

Antônio Carlos Guimarães⁽²⁾

Carlos Lúcio Cabral⁽³⁾

Djalma Rodrigues da Silva⁽⁴⁾

Resumo

O trabalho mostra os resultados operacionais obtidos no Alto-Forno nº 1 da USIMINAS durante a realização de três testes com alteração da "Base de Coque" carregada, além de salientar a filosofia adotada em outras usinas.

-
- (1) - Contribuição Técnica ao Seminário COMIN/COMAP da ABM; Porto Alegre, RS; Setembro/87.
- (2) - Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista da Unidade de Metalurgia do Gusa da USIMINAS - Ipatinga, MG.
- (3) - Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, Chefe da Seção de Altos-Fornos 1 e 2 da USIMINAS - Ipatinga, MG.
- (4) - Membro da ABM; Supervisor dos Altos-Fornos 1 e 2 da USIMINAS - Ipatinga - MG.

1. INTRODUÇÃO

A constante necessidade de aumento da produção siderúrgica fez com que as usinas se preocupassem em aumentar o índice de produtividade de seus equipamentos e reduzir os custos. No caso específico do alto-forno, cuja produtividade depende, entre outros fatores, da quantidade de ar soprado através das ventaneiras, desde há muito vem sendo aprimorada a qualidade das matérias primas a serem carregadas no seu interior. Ultimamente têm-se desenvolvido técnicas que visam distribuir os materiais no topo do forno de maneira a formarem um leito poroso e permeável ao gás redutor.

Os topos dos Altos-Fornos 1 e 2 da USIMINAS, tipo McKee convencional, não possuem flexibilidade na distribuição de carga sobre a superfície de carregamento, a exemplo do Alto-Forno 3, que é equipado com Placas Móveis. As poucas alternativas que eles possuem, e que podem contribuir para a obtenção de fluxo gasoso adequado, são as alterações da altura do nível de carga, da sequência de carregamento e da "base de coque".

O presente trabalho visa mostrar os resultados de testes efetuados no Alto Forno 1 da USIMINAS, com alterações na "base de coque" carregada em três épocas distintas, salientando os resultados operacionais de cada fase e a filosofia adotada.

2. INFLUÊNCIA DA BASE DE COQUE NA MARCHA OPERACIONAL DO ALTO-FORNO.

2.1. A Importância da Definição da Base de Coque

A "base de coque", conforme é denominada a quantidade de coque por carga carregada em intervalos regulares no topo do alto-forno, é que irá definir a altura das camadas na zona granular, conforme está indicado esquematicamente na figura 1.

Além dos aspectos ligados à distribuição e ao nível da carga no topo do alto-forno existem diversos fatores que influenciam na definição da "base de coque", tais como:

- espessura da camada de coque;

- capacidade de fusão na raiz da zona de coesão;
- formato da zona de coesão.

Tudo isso irá influenciar diretamente na centralização da marcha operacional, o que está relacionado com o consumo de combustível e a produtividade do alto-forno.

Os fenômenos que ocorrem na zona de coesão são pouco conhecidos na USIMINAS, uma vez que até o presente momento ainda não se operou nenhum dos altos-fornos com a utilização de sonda penetrante na cuba. No entanto, baseando-se em informações técnicas da NIPPON STEEL CORPORATION (NSC), mais precisamente com relação aos estudos de dissecação do Alto-Forno 1 de HIROHATA, pode-se afirmar que com uma menor espessura da camada de coque na zona de coesão, prejudicada ainda pela presença de metal em fusão, há um aumento excessivo no índice de permeabilidade. Entretanto, em se tratando da correlação desse índice com a variação da "base de coque", o comportamento muda após determinados níveis, conforme pode ser verificado na figura 2.

Portanto, às vezes torna-se difícil afirmar o que ocorre com a marcha do forno, quando se eleva a "base de coque". Dentro de determinados níveis, para a obtenção de um fluxo gasoso centralizado, é melhor que as espessuras das camadas de carga na periferia sejam menores, o que pode ser obtido com menor "base de coque".

Se se considerar somente o aspecto de permeabilidade, é mais vantajoso elevar-se a "base de coque", elevando, juntamente, o minério. Deve-se contudo, em determinados casos, visar uma operação com o objetivo de preservar a parede refratária e com isso, estender a vida útil do alto-forno.

O aumento da "base de coque", com relação MINÉRIO/COQUE constante, concorre para uma marcha de tendência periférica, devido à formação de uma camada espessa de minérios no centro do forno. Contudo, esse aumento permite melhorar a permeabilidade à ascensão aos gases e reduzir a perda de pressão na região de fusão. Toda via existe um limite que seria o ponto no qual a permeabilidade na cuba é piorada devido ao aumento excessivo da camada de minério (ou carga metálica) e ao fenôme-

no de compressão do "race-way" que provoca o ataque do gusa às ventaneiras. Desta forma, o gás que passaria na região da raiz da zona de coesão seria insuficiente para a completa fusão do material existente nessa região.

Nos altos-fornos da NSC (Japão) adota-se a filosofia de operação com "base de minério", isto é, mantém-se a carga de minério fixa e varia-se o coque, quando necessário. A figura 3 mostra a relação entre o volume de gás de rampa e a "base de minério" de diversos altos-fornos da NSC. Os dados foram levantados em períodos de produção máxima com operação relativamente estável.

Com excessão dos Altos-Fornos 1 e 2 de OITA, nota-se que o volume de gás de rampa está posicionado quase que linearmente sobre a mesma curva, o que denota que existe uma "base de minério" adequada para o nível de volume de gás de rampa, ou de produção, e se observa que em todos os altos-fornos efetuam-se ajustes na "base de minério" em função do nível de operação.

2.2. Filosofia de Alteração da Base de Coque Adotada na USIMINAS

A literatura existente sobre a definição da "base de coque" a ser usada no alto-forno é bastante escassa. Existe uma correlação entre a "base de coque" e o diâmetro da goela do alto-forno, que é bastante utilizada nos altos-fornos do Japão. A relação é a seguinte:

$$BC = K.Dt^3, \text{ onde :}$$

. K = Constante do alto-forno (0,030 ~ 0,040)

. Dt = Diâmetro da goela

A figura 4 mostra os valores de "base de coque" adotados em diversos altos-fornos da NSC, e também da USIMINAS, em função dos respectivos diâmetros da goela

No caso dos Altos-Fornos 1 e 2 da USIMINAS, a "base de coque" adequada ao diâmetro da goela seria de 5.800 kg/carga, para uma constante K igual a 0,035. No entanto, na operação com injeção de combustíveis auxiliares, esse valor é impraticável, uma vez que a quantidade de carga metálica atinge níveis que ultrapassam a capacidade máxima do cone grande (20 t).

A definição do valor a ser praticado para a "base de coque", através de fórm

mulas e modelos torna-se bastante comprometedor, uma vez que para cada tipo de marcha ou condição da campanha do alto-forno, pode haver uma necessidade diferente. Por isso, na USIMINAS sempre houve uma preocupação em se efetuar testes industriais, alterando-se os valores da "base de coque" e mantendo-se constantes os demais parâmetros, na medida do possível.

3. TESTES NO ALTO-FORNO 1 DA USIMINAS

De 1979 a 1986 foram realizados três testes de alteração da "base de coque", em três períodos distintos, nos quais procurou-se manter fixos os parâmetros operacionais, visando-se obter uma maior produtividade, aliada a um baixo custo. A qualidade das matérias primas não foi considerada no trabalho, visto que constantemente ela está sendo aprimorada. No entanto, dentro do período de cada teste, praticamente não houve alteração em suas características físico-químicas.

3.1. 1º Teste de Alteração da "Base de Coque" (Realizado em 1979)

O teste feito no Alto-Forno 1 em 1979, quando ainda se injetava óleo pelas ventaneiras (3ª campanha) foi realizado em oito etapas de uma semana cada. O teste consistiu em variar a "base de coque" de 5000 para 4500 Kg/carga, alterando-se em cada etapa, a altura do nível de carga de 0,5 m, dentro da faixa de 0,5 a 2,0 metros. Os resultados desse teste estão indicados na figura 5.

Não foi possível elevar a "base de coque", além de 5.000 kg/carga, devido à alta relação MINÉRIO/COQUE que estava sendo praticada (com a injeção de óleo), o que implicaria numa quantidade de carga metálica superior à capacidade do cone. No entanto, mesmo com o pequeno número de alterações da "base de coque", obtiveram-se bons resultados no teste.

Os principais resultados obtidos foram:

- a) para os mesmos níveis de altura de carga, a "base de coque" de 4500 kg / carga conduz a uma marcha com tendência mais central, com relação à de 5000 kg/carga;

- b) Na quarta etapa (Base de Coque = 5000 e sonda = 2 metros), foi verificada uma melhor estabilidade térmica no alto-forno, com menor desvio padrão de silício no gusa;
- c) apesar do enriquecimento do ar pelo oxigênio acarretar a descentralização da marcha, a utilização de "base de coque" mais elevada, torna a operação mais econômica e produtiva.

3.2. 2º Teste de alteração da "Base de Coque" (Realizado em 1984)

Desde o seu "blow-in" em outubro de 1983, até o ano de 1984, o Alto-Forno vinha operando com marcha irregular, apresentando uma série de reduções no volume de ar soprado devido a instabilidade em sua pressão de sopra.

Durante o período de 25/10 a 22/11/84 foi feito um teste alterando-se a base de coque de 5000 para 5200 e em seguida para 5400 kg/carga, cujos resultados estão indicados na figura 6.

No decorrer de um teste deste tipo na USIMINAS, procura-se sempre evitar alterar os parâmetros operacionais do alto-forno. No entanto dessa vez, devido à maior necessidade de produção da Usina na época, foi necessário efetuar as seguintes alterações:

- dia 04/11 : - espera do carregamento de 1 para 1/2 carga.
- dia 05/11 : - substituição de minério por pelota.
- dia 10/11 : - troca de chapas perfuradas de .5 x 25 para 25 x 35 (coque).
- dia 10/11 : - sonda de 2,0 ~ 1,5 metro.
- dia 10/11 : - carga = pelota : 20 ~ 10%
minério: 0 ~ 10 %

Mesmo com essas alterações efetuadas, obtiveram-se os seguintes resultados:

- a) com a "base de coque" maior (5.400 kg/carga), houve uma sensível elevação na produção de gusa, devido principalmente, à estabilização de marcha;

- b) a maior "base de coque" (BC) permitiu uma sensível melhoria na permeabilidade, com uma estabilidade na pressão de sopro;
- c) no período II o "coke-rate" foi maior que no I, devido à maior centralização da marcha.
- d) houve maior estabilidade térmica nos períodos I e II com melhor acerto do silício no gusa, e também, uma redução do seu teor.
- e) a temperatura da cuba apresentou uma elevação na passagem do período base para o período I, devido à elevação do M/C e da porcentagem de pelota na carga.
- f) a alteração de BC de 5200 para 5400 kg/carga ocasionou queda da temperatura da cuba, indicando maior centralização da marcha.

3.3. 3º Teste de Alteração da "Base de Coque" (Realizado em 1985 e 1986)

No início de 1985 observou-se um acentuado desgaste nas placas de proteção do topo do Alto-Forno 1, o que contribuiu para uma deterioração da marcha do forno. Devido a esse fator e visando uma maior produtividade, bem como, redução no consumo médio de coque/tonelada de gusa, iniciaram-se os testes de alterações de "base de coque". O teste constou de 12 períodos distintos, onde se levou em consideração a uniformidade da operação não se considerando os períodos de parada do alto-forno. Os seus resultados estão indicados no quadro I e figura 7. Tomou-se um período padrão e calculou-se o "coke-rate" corrigido para todos os outros, através da correlação de FLINT. Através das médias das temperaturas do gás do topo de cada período, traçou-se o perfil do fluxo gasoso do Alto-Forno, conforme está indicado na figura 8.

Baseando-se nos períodos analisados, podem-se salientar os seguintes resultados:

- a) a temperatura do gás do topo mostrou que a marcha foi mais central com BC abaixo de 5000 kg/carga. Os valores de BC acima de 5000 apresentaram uma menor centralização da marcha, salientando-se que nesses períodos houve enriquecimento do ar com oxigênio.

- b) a temperatura do revestimento da cuba sofreu uma sensível elevação com o aumento de BC de 4500 até 5000 kg/carga, sendo que a partir daí, ela começou a decrescer, chegando ao limite de formação de cascão, com BC igual a 6000 kg/carga.
- c) obteve-se uma maior estabilidade térmica do Alto-Forno 1 com BC acima de 5400, o que pode ser notado pelo desvio padrão do silício no gusa indicado no quadro I.
- d) a produção de gusa elevou-se gradativamente com o aumento de BC, com excessão do período de 5000 kg/carga.
- e) o melhor resultado de "coke-rate" corrigido foi obtido no período de BC = 5800 kg/carga.

4. CONCLUSÃO

- Os resultados obtidos no 1º teste (1979) foram semelhantes ao do 3º teste (1985/1986), ou seja, a utilização de "base de coque" abaixo de 5000 kg/carga ocasiona centralização da marcha, com um maior consumo de combustível. No 2º teste (1984) verificou-se a mesma tendência, porém com os resultados afetados pelas situações adversas ocorridas no período.

- Os resultados obtidos vieram confirmar os dados estatísticos, aumentando ainda mais a certeza de que a "base de coque" ideal para o Alto-Forno 1 da USIMINAS deve ser de 5800 kg/carga, para operação sem injeção de combustível auxiliar. Valores superiores a esse ocasionariam maior peso da carga metálica ultrapassando a capacidade do cone grande, e ainda poderiam ocasionar a formação de cascão na cuba do alto-forno.

BIBLIOGRAFIA

- HARAGUSHI, H. et alii - Some Aspects of Deterioration of Coke in Blast Furnace; Transactions ISIJ, Vol. 25, 1985, p. 190 - 197.

| QUADRO I - RESULTADOS OPERACIONAIS DO ALTO FORNO 1 DA USIMINAS PARA DIVERSOS VALORES DE BASE DE COQUE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|----------------|-----------|-----------|------|----------------|----------------------|------------------|---------------|------------|----------|----------------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------------------------|---|---|-----------------------------------|--------------------|
| Período | BC | Produção (t/d) | Coke Rate | Slag Rate | K | Enriquecimento | Temperatura de Chama | Velocidade do Ar | Engaiolamento | Arriamento | % Sinter | Cinza do Coque | Si | S | √ Si | Temperatura do Ar | Volume de Ar (Nm ³ /min) | Volume de Gás de Rampa (Nm ³ /min) | Volume de Oxigênio (Nm ³ /h) | Umidade do Ar (g/m ³) | S Carregado (Kg/t) |
| | 01/07/85 a 31/07/85 | 4500 | 1635 | 479 | 303 | 12,2 | 0 | 2254 | 250 | 1 | 3 | 88,4 | 10,84 | 0,46 | 0,033 | 0,056 | 1007 | 1288 | 1601 | 0 | 13,1 |
| 01/08/85 a 31/08/85 | 4600 | 1606 | 482 | 309 | 12,4 | 0 | 2233 | 246 | 0 | 4 | 89,2 | 10,68 | 0,47 | 0,032 | 0,077 | 993 | 1286 | 1605 | 0 | 15,1 | 3,35 |
| 15/05/86 a 19/05/86 | 4800 | 1676 | 490 | 314 | 11,5 | 0,81 | 2254 | 246 | 0 | 0 | 95,0 | 10,25 | 0,61 | 0,025 | 0,053 | 976 | 1318 | 1676 | 825 | 16,2 | 3,18 |
| 21/03/86 a 31/03/86 | 4900 | 1736 | 487 | 310 | 11,5 | 1,14 | 2291 | 256 | 0 | 6 | 95,0 | 10,53 | 0,54 | 0,028 | 0,101 | 989 | 1301 | 1666 | 1280 | 16,1 | 3,27 |
| 01/03/85 a 31/03/85 | 5000 | 1605 | 479 | 301 | 11,3 | 0 | 2241 | 262 | 1 | 5 | 86,9 | 10,11 | 0,51 | 0,026 | 0,080 | 1031 | 1293 | 1626 | 0 | 19,0 | 3,07 |
| 04/06/86 a 05/06/86 | 5200 | 1754 | 485 | 299 | 12,1 | 1,29 | 2290 | 236 | 0 | 0 | 89,8 | 10,03 | 0,56 | 0,035 | 0,106 | 947 | 1318 | 1671 | 1278 | 9,8 | 3,27 |
| 06/06/86 a 12/06/86 | 5300 | 1758 | 480 | 299 | 12,1 | 1,28 | 2302 | 243 | 0 | 0 | 88,5 | 10,00 | 0,50 | 0,038 | 0,058 | 981 | 1315 | 1673 | 1299 | 12,0 | 3,23 |
| 13/06/86 a 18/06/86 | 5400 | 1702 | 486 | 299 | 12,3 | 1,28 | 2263 | 232 | 0 | 0 | 88,6 | 9,98 | 0,52 | 0,031 | 0,034 | 934 | 1310 | 1670 | 1298 | 12,9 | 3,25 |
| 19/06/86 a 02/07/86 | 5600 | 1674 | 483 | 292 | 12,4 | 1,26 | 2267 | 229 | 0 | 0 | 87,3 | 9,22 | 0,50 | 0,037 | 0,030 | 938 | 1282 | 1633 | 1252 | 12,4 | 3,34 |
| 03/07/86 a 15/07/86 | 5800 | 1723 | 479 | 299 | 12,3 | 1,42 | 2269 | 227 | 0 | 0 | 89,6 | 9,66 | 0,50 | 0,031 | 0,056 | 919 | 1393 | 1613 | 1425 | 11,0 | 3,18 |
| 19/07/86 a 31/07/86 | 6000 | 1761 | 477 | 297 | 11,9 | 1,45 | 2279 | 236 | 0 | 0 | 88,8 | 9,71 | 0,51 | 0,027 | 0,058 | 946 | 1295 | 1651 | 1457 | 12,1 | 2,73 |

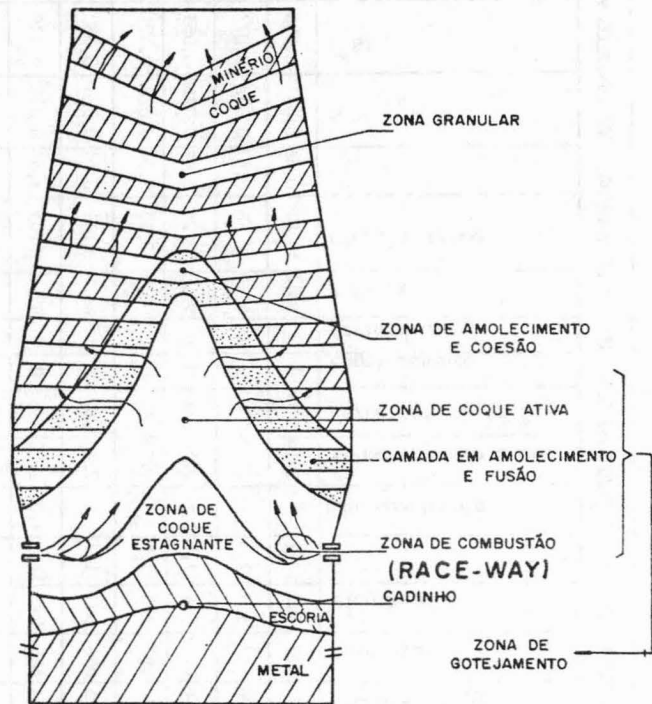


Fig.1 - Esquema do interior do Alto-Forno.

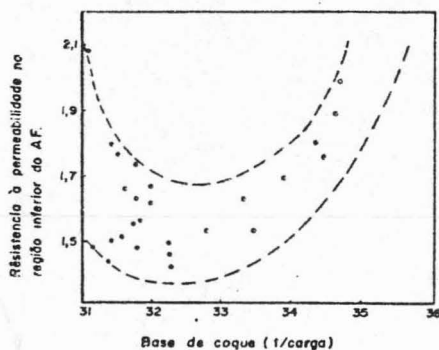


Fig. 2 - Relação entre a base de coque e o índice de resistência à permeabilidade na região inferior do Alto-Forno.

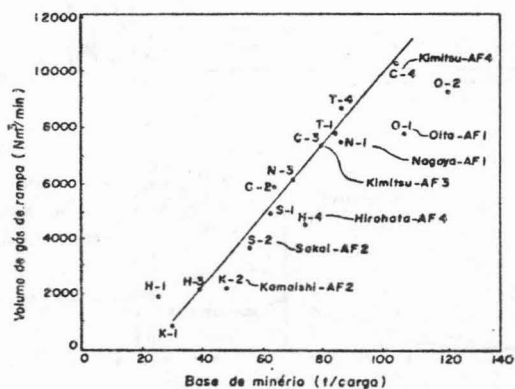


Fig. 3 - Relação entre a base de minério e o volume de gás de rampa de diversos Alto-Fornos da NSC.

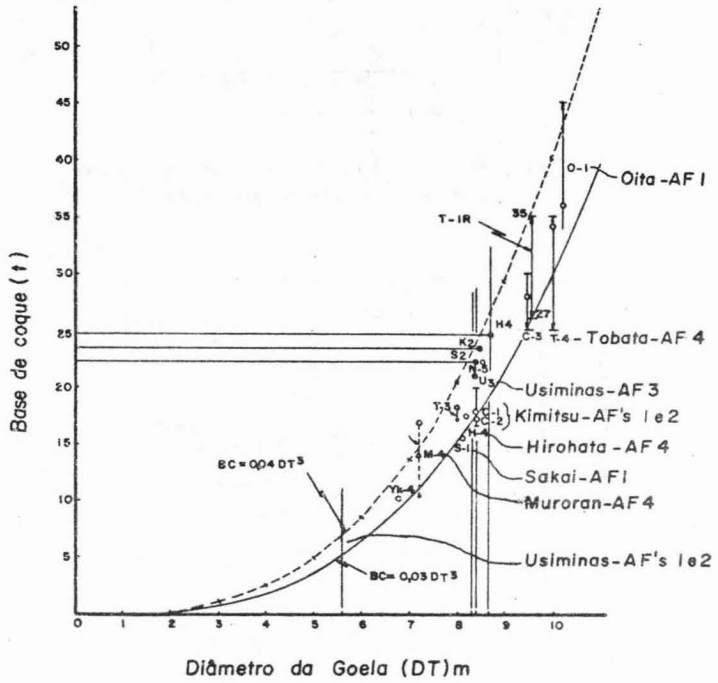


Fig.4 - Relação entre a base de coque e diâmetro da goela de Altos-Fornos da NSC.

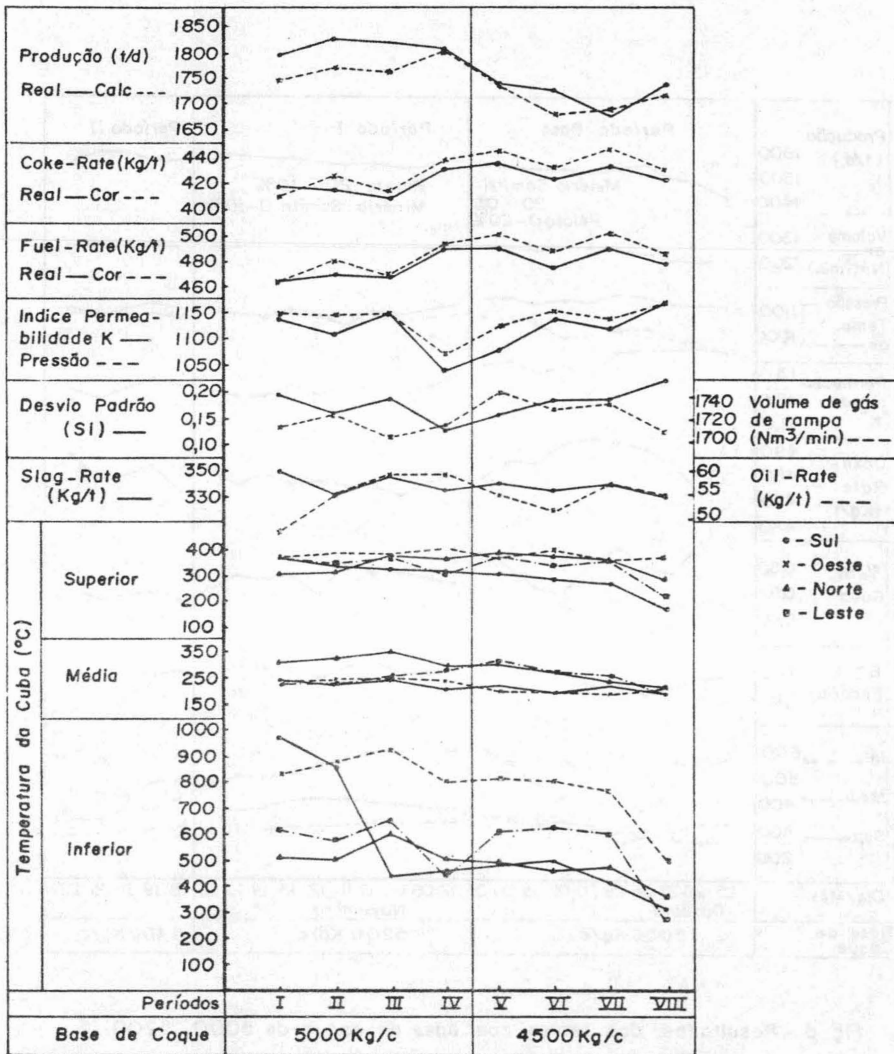


Fig. 5 - Resultados operacionais dos testes com base de coque de 5000 (I a IV) e 4500 Kg/carga (V a VIII) - 1º Teste.

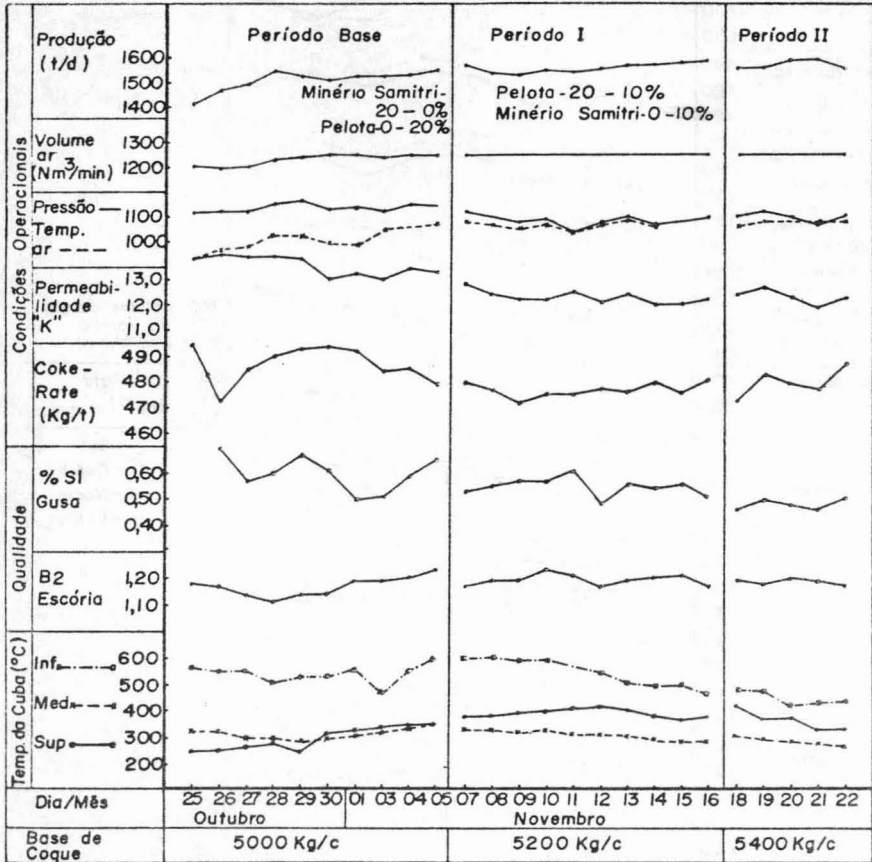


Fig. 6 - Resultados dos testes com base de coque de 5000, 5200 e 5400 Kg/carga, realizados em 1984 - 2º Teste.

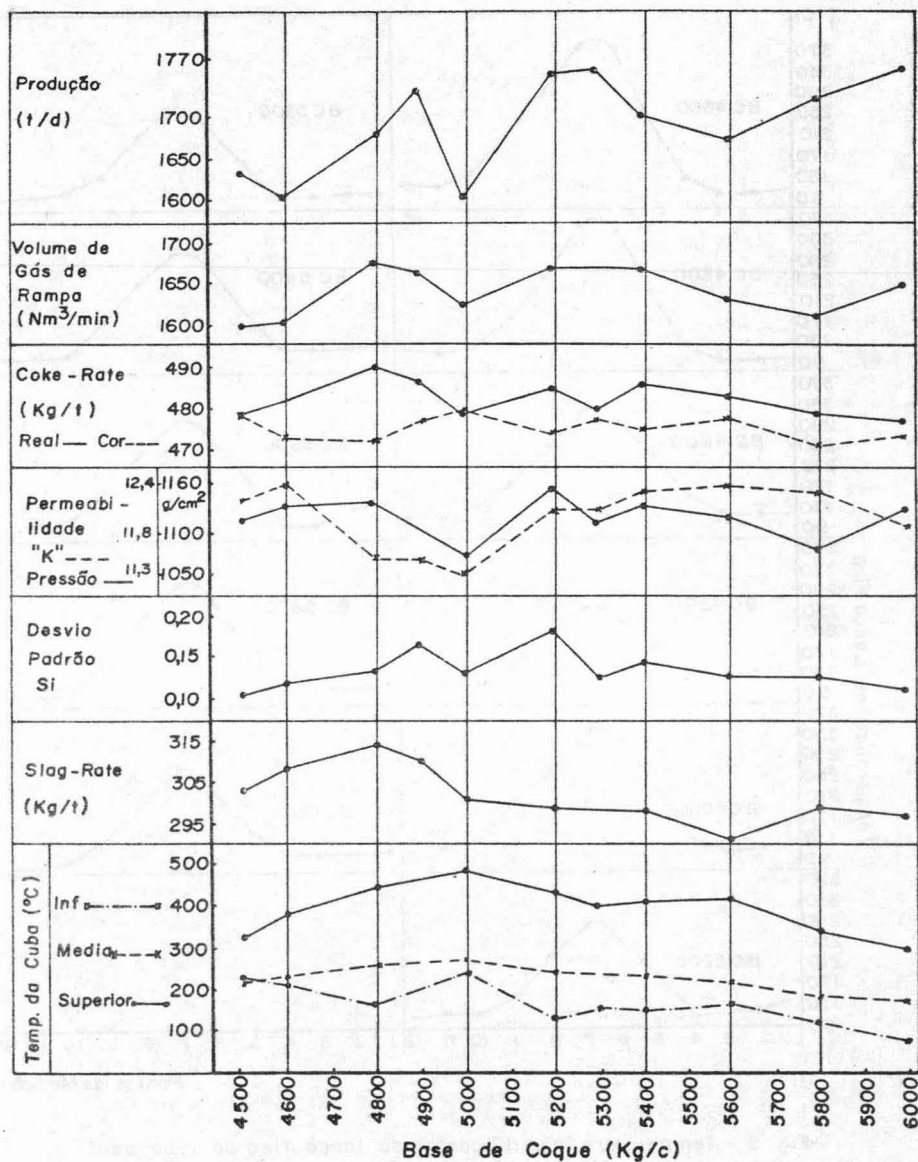


Fig. 7 - Resultados operacionais do Alto-Forno I para diversos valores de base de coque - 3^o Teste.

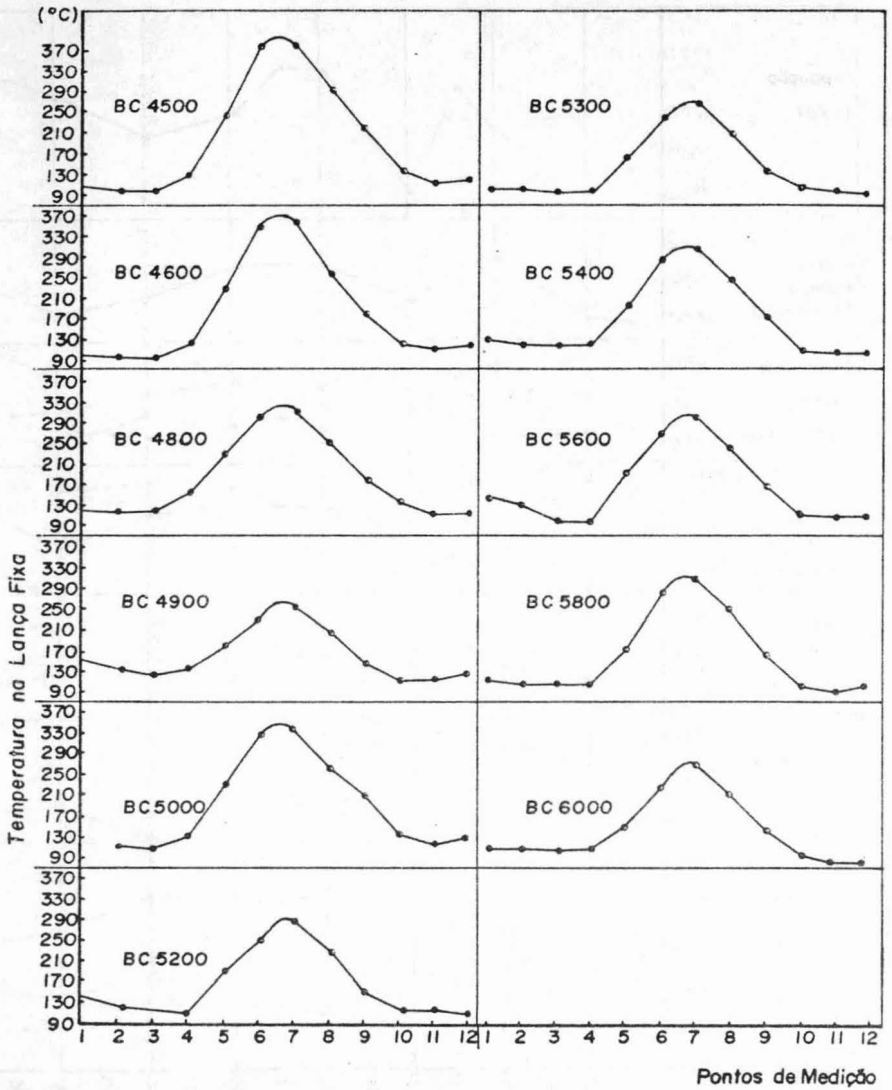


Fig. 8 - Temperatura nos 12 pontos da lança fixa do topo para base de coque de 4500 a 6000 Kg/c.