

CONTRÔLE DA TEMPERATURA DE VAZAMENTO EM FORNOS SIEMENS-MARTIN. ALGUNS RESULTADOS OBTIDOS DA CIA. SIDERÚRGICA NACIONAL ⁽¹⁾

M. L. HASEK, S. W. BALBI, C. H. M. BRAGA,
E. GREES, E. P. SOUZA, L. V. SILVA
e O. L. BARBOSA ⁽²⁾

RESUMO

Em aditamento à contribuição anterior (ver "ABM-Boletim", volume 14, página 517) os Autores apresentam mais resultados obtidos na Usina de Volta Redonda com o contrôlo da temperatura de vazamento em fornos SM.

1. INTRODUÇÃO

No XIII Congresso da ABM, os Autores apresentaram um estudo sôbre determinação de temperatura de vazamento para aços efervescentes com baixo teor em carbono, utilizando-se termopares de imersão Pt-Pt Rh 13%. O referido estudo mostra que as temperaturas de vazamento devem ser as mais baixas possíveis, limitadas inferiormente pelo nível de formação de cascão na panela, que resulta anti-econômico. Tôda providência no sentido de ser reduzida a faixa de temperatura de vazamento e levá-la para o limite inferior é benéfica, uma vez que a elevação de temperatura traz como conseqüências:

- a) Aumento de desgaste dos refratários dos fornos e da panela;
- b) Aumento da proporção dos lingotes presos nos assentos e lingoteiras;
- c) Redução na vida de assentos e lingoteiras;
- d) Aumento da proporção de lingotamentos descontrolados (o vedamento do orifício da panela é nulo ou deficiente);

(1) Contribuição Técnica n.º 389. Discutida na Comissão «A» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.
(2) Membros da ABM; Técnicos da Usina de Volta Redonda, constituídos em Comissão pela direção industrial daquela Usina.

- e) Maior segregação de impurezas nos tôpos dos lingotes, ocasionando menor rendimento na laminação e
- f) Pior qualidade do aço devido à menor uniformidade na composição química dos lingotes causada pela solidificação demorada.

Por conseguinte, a faixa de temperatura de vazamento para um determinado tipo de aço (referente ao seu teor em carbono), é convenientemente fixada tendo-se em vista a formação de cascão na panela. A amplitude desta faixa deve ser a menor possível, considerando as condições práticas de operação.

No presente trabalho, que é uma continuação do "*Medida da Temperatura do Banho na Fabricação do Aço em Fornos Siemens-Martin*", será analisada a determinação da faixa de temperatura de vazamento para aços semi-acalmados, com teor médio de carbono; serão mostrados alguns resultados obtidos com o controle das temperaturas de vazamento na Aciaria da Companhia Siderúrgica Nacional.

2. TEMPERATURA DE VAZAMENTO PARA AÇOS SEMI-ACALMADOS (SA) COM TEOR MÉDIO EM CARBONO

Como a análise para a determinação das faixas de temperatura de vazamento para aços semi-acalmados tem o mesmo planejamento e, em essência, é a mesma apresentada para aços efervescentes, não se entrará aqui em detalhes. Serão ressaltados apenas os pontos de diferenciação. Os aços semi-acalmados são bloqueados no forno, com a finalidade de interromper a oxidação do carbono, e o vazamento é feito nestas condições. Qualquer providência para uma correção de temperatura do banho deve ser tomada antes do bloqueio. Assim sendo, o momento de referência para temperatura do banho nos aços SA, é o do bloqueio, em lugar do momento de vazamento nos aços efervescentes. Para o levantamento da relação entre cascão e temperatura de vazamento (fig. 1) tôdas as medidas de temperatura foram corrigidas para o tempo de cinco minutos antes do bloqueio. Para isto, foi determinada a evolução da temperatura do banho em algumas corridas na fase final do refino, achando-se o valor modal de 1,0°C/minuto (fig. 2).

Com base na relação apresentada na fig. 1, a faixa de temperatura, para o tempo de 5 min. antes do bloqueio, foi fixada entre 1.555°C e 1.575°C.

A relação cascão-temperatura (fig. 1) sofre uma mudança de inclinação na altura de 1.555°C. Para temperaturas abaixo deste ponto, a formação de cascão não só aumenta de u'a maneira pronunciada, como também a dispersão é enorme. Desta

forma, sem necessidade de maiores análises, ficou definido o limite inferior da faixa de temperaturas de vazamento. O intervalo de 20°C foi estabelecido de maneira semelhante aos dos aços efervescentes, esperando-se que pudesse ser atendido na prática.

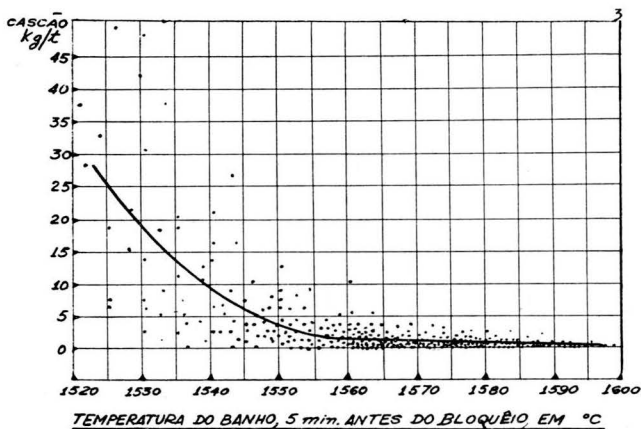


Fig. 1 — Quantidade de cascão, em kg/t, em função da temperatura de vazamento, para aços semi-acalmados.

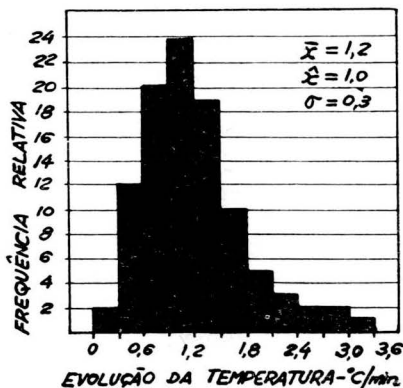


Fig. 2 — Distribuição de freqüências da evolução da temperatura, em °C/min.

No decorrer da análise, foram feitas tentativas para verificar a influência do teor de carbono, para este tipo de aço, na formação de cascão com mesma temperatura. Não foi encontrada diferença significativa, o que levou a se englobar os aços semi-acalmados em um só conjunto.

Como a temperatura de vazamento de um aço está ligada ao tempo de permanência do aço na panela (início de vazamento a fim de lingotamento), foi levantada a distribuição de frequência deste tempo (fig. 3), a fim de conhecer o seu campo de variação, para o qual é válida a faixa determinada.

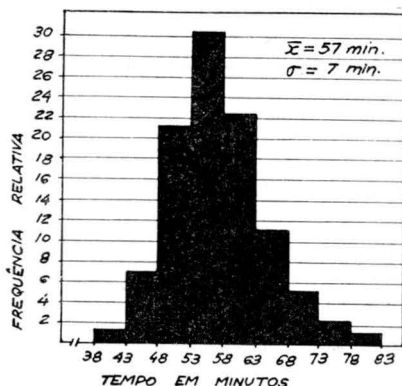


Fig. 3 — Distribuição de frequência dos tempos entre início de vazamento e fim de lingotamento.

O acompanhamento da queda do carbono e evolução da temperatura durante o refino servem de orientação na tomada de providências no sentido de levar a temperatura para a faixa especificada, no momento devido. Com o controle de temperatura durante o refino (em estudo), a condução da corrida para uma temperatura final desejada deverá ficar muito facilitada.

É óbvio que, no controle de temperatura de vazamento para aços semi-acalmados, o bloqueio deve ser feito com a temperatura em ascensão. É duvidoso o resultado, quanto à formação de cascão, se a temperatura estiver dentro da faixa mas em declínio, devido, por exemplo, a um recurso usado para baixá-la por estar alta. A duração do bloqueio é outro ponto que requer cuidados; deve ser mantida o mais próxima possível de seu valor médio (10 min.).

3. TEMPERATURAS DE VAZAMENTO — REDUÇÃO NA DISPERSÃO

O controle de temperaturas de vazamento para aços efervescentes e semi-acalmados, visando o atendimento das faixas resultantes das análises efetuadas, foi iniciado em junho de 1958. Tinha-se, para estes dois tipos de aço, variações de temperatu-

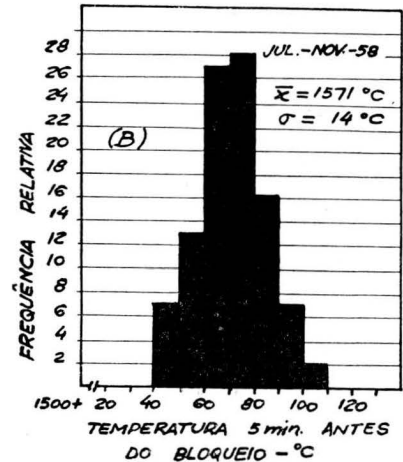
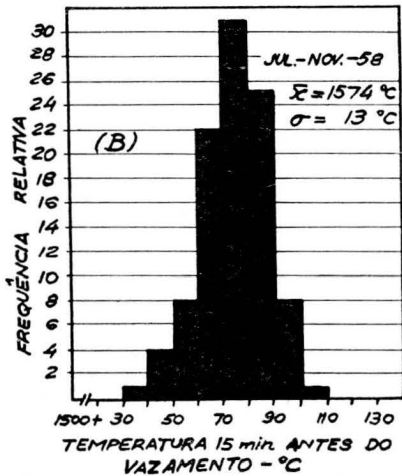
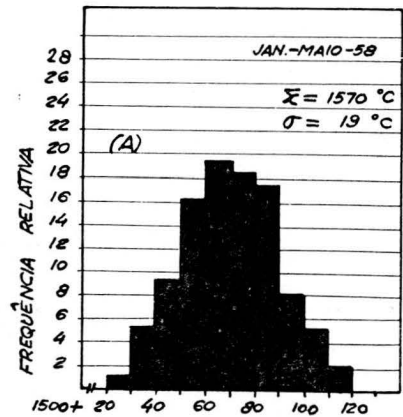
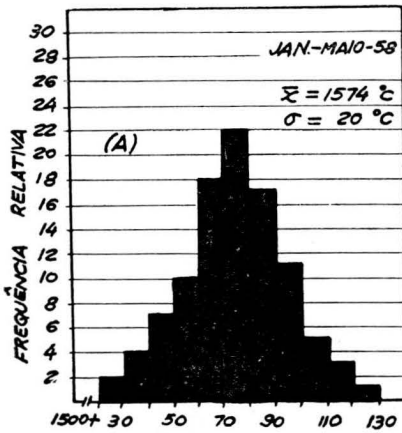


Fig. 4 — Temperaturas antes e depois do controle, para aço EF.

Fig. 5 — Temperaturas antes e depois do controle, para aço SA.

ras de vazamento definidas pelas distribuições de frequências das figs. 4-A e 5-A. O controle levou, principalmente, a uma redução na dispersão destas distribuições mostradas nas figs. 4-B e 5-B, não se tendo, contudo, atingido a amplitude pré-fixada. Há a considerar que a temperatura própria de vazamento deve ser obtida ao mesmo tempo que a composição desejada no banho, o que é bastante difícil sem um acompanhamento conveniente destes dois fatores durante o refino. A proporção em que os operadores forem se ambientando e adquirindo experiência com este tipo de controle, sua eficiência será melhorada.

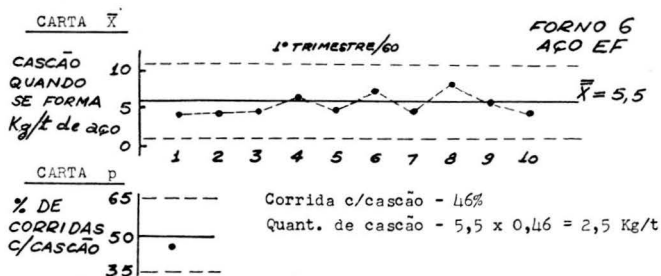


Fig. 6 — Carta de controle para quantidade de cascão.

4. RESULTADOS OBTIDOS COM O CONTRÔLE DE TEMPERATURA E VAZAMENTO

Cascão — Para aços efervescentes e semi-acalmados (90% da produção da CSN), as reduções na formação de cascão, obtidas pelo controle das temperaturas de vazamento, são mostradas nos quadros I e II. Como se esperava, houve uma redução pronunciada na formação de cascões grandes e um aumento na proporção de cascões pequenos e na proporção de corridas sem cascão.

Para aços efervescentes teve-se 47% de redução na quantidade de cascão; para os semi-acalmados 61%.

O controle de cascão está sendo feito por intermédio de cartas de controle de dois tipos: uma para medir a média dos cascões quando estes se formam (carta \bar{X}, R), e outra a ocorrência de cascões em grupos de corridas e expressa em porcentagem de corridas com cascão (carta p). A fig. 6 mostra um exemplo deste controle correspondente ao primeiro trimestre de 1960.

QUADRO I

Formação de cascão, antes e depois do controle de temperatura de vazamento — Aços efervescentes

Discriminação, em %	Janeiro a Maio/1958	Julho a Novembro/1958
Corridas sem cascão	53,6	63,7
Cascão de 0 até 1 t	21,2	24,0
Cascão de 1 até 2 t	13,2	8,0
Cascão acima de 2 t	12,0	4,3
	100,0	100,0
Quantidade de cascão em kg/t	6,1	3,2
N.º de corridas analisadas ...	250	300

QUADRO II

Formação de cascão antes e depois do controle de temperatura de vazamento — Aços semi-acalmados

Discriminação, em %	Janeiro a Maio/1958	Julho a Novembro/1958
Corridas sem cascão	55,8	64,7
Cascão de 0 até 1 t	15,0	28,6
Cascão de 1 até 2 t	19,1	3,1
Cascão acima de 2 t	10,1	3,6
	100,0	100,0
Quantidade de cascão em kg/t	5,7	2,2
N.º de corridas analisadas ...	256	224

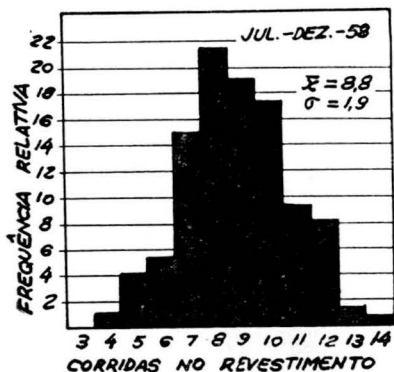
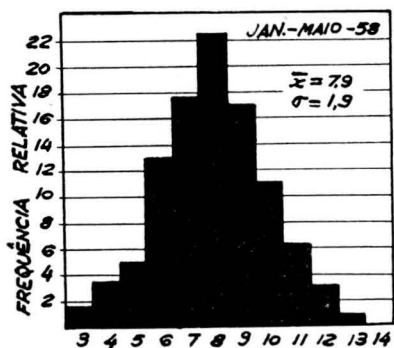


Fig. 7 — Número de corridas no revestimento da panela de aço, antes e depois do controle de temperatura de vazamento.

Panelas — As utilizadas pela CSN para o recebimento do aço vazado dos fornos são revestidas de tijolos sílico-aluminosos e têm capacidade média em torno de 210 t. A duração do revestimento, expresso em número de corridas, é função da temperatura do aço através de desgaste (quando alta) e de destruição pelo cascão aderido (quando baixa). É natural, portanto, que tivesse uma duração aumentada em consequência das reduções das dispersões das temperaturas de vazamento e da quantidade de cascão. A fig. 7 mostra o aumento de duração de revestimentos idênticos com o controle das temperaturas de vazamento. As dispersões das distribuições da fig. 7 são praticamente iguais ($\sigma = \pm 1,9$ corridas), e as médias, respectivamente para os períodos

anterior e posterior ao contrôle, são 7,9 e 8,8 corridas por revestimento. Houve, em média, um ganho significativo de 0,9 corridas por revestimento.

Lingoteiras — Sua duração depende, em grande parte, da intensidade dos choques térmicos a que são submetidas, tanto maiores quanto mais elevada a temperatura do aço no lingotamento. Temperaturas elevadas contribuem para a formação de trincas e para os fenômenos de “queima” e “crescimento”, principais causas de sucata de lingoteiras.

Para as lingoteiras usadas na Aciaria da CSN (capacidade variando de 6 a 10 t) os consumos médios em kg/t de aço lingotado, durante o ano de 1958 e para os períodos anterior e posterior ao contrôle de temperaturas de vazamento, são mostrados no quadro III. Houve uma redução média, significativa, de 4,8 kg de lingoteira por tonelada de aço lingotado.

QUADRO III

Consumo das lingoteiras, antes e depois do contrôle de temperatura de vazamento

Tipo de lingoteira	Consumo médio		Diferença kg/t	Redução no consumo
	Antes kg/t	Depois kg/t		
E	20,26	16,25	4,01	19,8%
J	23,30	17,38	5,92	25,4%
S	22,65	17,67	4,98	22,0%

Rendimento no Laminador Desbastador — O lingote, após laminado no Laminador Desbastador, tem suas extremidades cortadas progressivamente até a eliminação de bolsas ou de segregações aí localizadas. Chamando-se *A* o peso do lingote e *B* o peso deste lingote após a laminação e aparas das pontas, define-se o “rendimento primário no Laminador Desbastador” como:

$$R = \frac{B}{A} \times 100$$

Uma temperatura mais alta no lingotamento resulta em solidificação mais lenta, favorecendo a segregação de impurezas no tópo do lingote, razão pela qual é de se esperar melhor ren-

dimento no laminador com a eliminação de temperaturas elevadas no lingotamento. Na fig. 8, onde se tomou o rendimento médio do ano de 1957 igual a 100, nota-se um aumento significativo deste rendimento com o contrôle de temperaturas de vazamento.

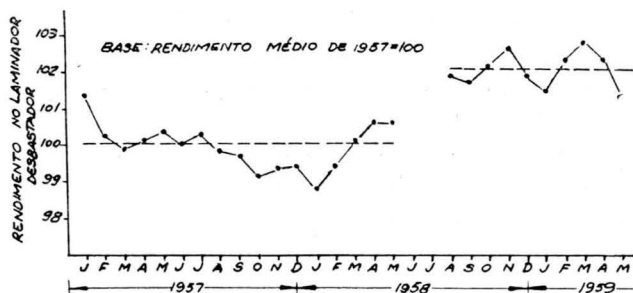


Fig. 8 — Rendimento no Laminador Desbastador, antes e depois do contrôle de temperatura de vazamento.

NOTA — Os aços acalmados são fabricados em pequena proporção na CSN e estavam sendo vazados em temperaturas excessivamente altas. Por esta razão não foi possível uma análise de temperatura de vazamento, nos moldes da feita para os outros tipos de aço. Com base nas conclusões chegadas quanto às temperaturas de vazamento para aços efervescentes e semi-acalmados, e considerando que, para as demais condições idênticas, estas temperaturas são função linear do teor em carbono do aço, foram fixadas as seguintes faixas de temperaturas de vazamento (próximas ao bloqueio) para os aços acalmados:

- a) teor em carbono abaixo de 0,50% — 1.530°C a 1.550°C
- b) teor em carbono acima de 0,50% — 1.520°C a 1.540°C

Nestas condições têm-se trabalhado com resultados satisfatórios.

5. CONCLUSÕES

O contrôle de temperaturas de vazamento em fornos Siemens-Martin, utilizando-se pirômetros de imersão Pt-Pt.Rh 13%, veio confirmar, na Companhia Siderúrgica Nacional, o resultado que dêle se esperava com base na experiência de siderúrgicas americanas e européias. É interessante ressaltar, embora o método de contrôle já possa ser considerado tradicional, a necessidade de análise para se atender às condições peculiares de cada usina e se obter com isto resultados econômicos mais significativos.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Diretoria da Companhia Siderúrgica Nacional a autorização para esta publicação.

BIBLIOGRAFIA

1. "Basic Open Hearth Steelmaking". American Institute of Mining and Metallurgical Engineers; New York, The Maple Press Company, 1944.
2. "Open Hearth Proceedings". American Institute of Mining and Metallurgical Engineers; 1947, 1951, 1953, 1954 e 1955.
3. KRYVICKYJ, W.; HAYDT, H. M. — "Fabricação de Lingoteiras na CSN". Boletim n.º 59 da ABM, 1960.
4. JURAN, J. M. — "Manual de Control de la Calidad". Barcelona Editorial Reverté S.A., 1955.
5. EZEKIEL, M. — "Methods of Correlation Analyse". Second Edition, 1956; New York — John Wiley & Sons, Inc.
6. "Medida da Temperatura do Banho na Fabricação do Aço em fornos Siemens-Martin". Boletim n.º 53 da ABM, 1958.



DISCUSSÃO (1)

J. M. França (2) — Solicito ao Eng. Orlando Barbosa que informe se não notou também uma melhora no acabamento da superfície dos lingotes com uma temperatura de vazamento mais baixa e se toda a escala de temperatura foi feita no momento de imersão.

O. Barbosa (3) — Quanto à primeira pergunta, pensamos em fazer um levantamento nesse sentido, analisando a redução da área escarificada. Mas, infelizmente, é um controle muito difícil. Embora crentes de que tenha havido de fato uma melhora, não podemos numéricamente afirmar isso. Quanto à medida da temperatura só pode ser obtida uma escala de temperatura na hora do vazamento.

A principal vantagem do pirômetro de imersão é a de fornecer a temperatura dentro do forno, isto é, dar indicações em tempo para que essa temperatura, uma vez conhecida, possa ser modificada e elevada para o valor que se desejar.

Fizemos estudos sobre a precisão do pirômetro de imersão; podemos garantir que ela está dentro de uma faixa de mais ou menos 10°C, sendo que 70% está mais ou menos numa faixa de 5°C. É um aparelho bem preciso.

Fritz Gnoth (4) — Os senhores tiveram bons resultados com a medida da temperatura dentro do forno, e fizeram uma relação com o cascão que fica na panela depois da corrida. Não conheço as instalações de Volta Redonda; mas, não achariam melhor, para ter uma coisa sempre igual — porque o tempo do bloqueio sempre varia um pouco —

(1) Contribuição Técnica n.º 389. Discutida na Comissão «A» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro da COBRASMA; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Usina de Volta Redonda; da CSN; Volta Redonda, RJ.

(4) Membro da ABM; Engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.

medir a temperatura do aço dentro da panela? Nós fazemos isso. Para fins de experiência, para ter sempre a mesma condição, fazemos a medição dentro da panela.

O. Barbosa — O fator principal que me vem à memória, e que isso contra-indica, é o de que a existência do aço dentro da panela é um fato consumado. Não podemos fazer alteração nenhuma sobre a temperatura do aço dentro da panela.

F. Gnoth — O senhor poderia fazer a medida dentro do forno e depois dentro da panela, para ter uma certa relação entre as temperaturas do forno e da panela. Para fins de indústria, essa indicação seria melhor.

O. Barbosa — Seria interessante, não há dúvida, se medíssemos a queda da temperatura do aço do forno para a panela. Mas em cada usina, em condições padronizadas, o tempo de permanência do aço na panela e o tipo de panela, são fatores que variam muito pouco. Podíamos fazer medidas nesse sentido, para ter idéia da queda da temperatura do aço dentro da panela; pensámos em fazer isso. Mas os resultados obtidos por aquela correlação direta nos permitiram chegar à conclusão do estabelecimento e fixação do contrôle, que já eliminavam a necessidade de se assim proceder.

F. Gnoth — Um segundo ponto que desejo abordar é que fazemos essa medida de imersão e uma medida no jato, na hora da moldação, com um aparelho que recebemos agora da Alemanha, com tricolor, o qual tem dado muito bons resultados; evita isso que o senhor falou a respeito do pirômetro normal, muito influenciado pela sujeira em volta do jato.

Ferruccio Fabriani ⁽⁵⁾ — Quero fazer uma pergunta, à guisa de esclarecimento: depois que uma panela tem certo teor de cascão, quantas vezes ela é usada de novo? Ou, qual o teor de cascão que impede que ela seja usada novamente?

O. Barbosa — Para eliminar ou não a panela, depende da aderência que um cascão tenha às paredes da mesma. Podemos ter um cascão grande, que não adere, que é retirado facilmente e não danifica o tijolo. De modo que observamos mais o aspecto da panela, independentemente de considerar ou não a quantidade de cascão formado. Contudo, é certo que uma maior frequência de cascão tem possibilidade de fazer aderência muito grande e danificar o tijolo.

F. Fabriani — Quer dizer que, mesmo que a panela tenha tido um cascão de pequena ordem de grandeza, ele é sempre retirado para uso continuado da panela, até que esta atinja em média 8,8 corridas?

O. Barbosa — Sim, para uma panela de 200 a 210 t.

Cláudio Braga ⁽⁶⁾ — Com a devida licença, parece-me que há dois aspectos: um, é o da perda da panela e, portanto, sua vida abreviada, devido a um acidente na retirada do cascão. Nesse particular, o pirômetro, como sistema de medir a temperatura, veio ajudar, impedindo, em forte proporção, a ocorrência de grandes cascões que cortem brus-

(5) Membro da ABM; Professor da Escola Nacional de Engenharia; Rio de Janeiro, Gu.

(6) Membro da ABM; Engenheiro da Usina de Volta Redonda, da CSN; Volta Redonda, R.J.

camente a vida da panela. Os cascões pequenos têm tendência muito menor a impedir o uso ulterior da panela em outras corridas.

Portanto, há um aspecto que se refere à maior vida do revestimento, devido às temperaturas mais baixas dentro do forno, mais baixas do que aquelas com que outrora se trabalhava; outro, o da redução de perdas bruscas da panela com revestimento em bom estado, por acidente, ao serem retirados os cascões da mesma. Naturalmente, a medição da real importância dos dois aspectos em relação aos resultados obtidos será talvez objeto de estudo futuro.

R. F. Azevedo — Acredito que o Prof. Ferrucio Fabriani esteja mais preocupado com outro problema: o de se há acumulação de cascão de uma corrida para outra. Esclareço que em Volta Redonda toda a corrida é iniciada sem cascão na panela.

F. Fabriani — Quando o cascão é grande, ele interrompe a vida da panela. Seria interessante saber se essas panelas abruptamente cortadas na sua vida útil também são computadas nessa estatística de 8,8.

O. Barbosa — Essa é a principal causa do aumento médio.

F. Gnoth — As panelas são reaquecidas antes da corrida? Qual a temperatura da panela? Seria sempre mais ou menos igual?

C. Braga — Não medimos essa temperatura; acreditamos que, no instante do vazamento, as panelas tenham temperatura uniforme. Elas são sempre aquecidas numa parede com um maçarico de óleo; devem ter uma temperatura razoavelmente alta, mesmo porque em todas as corridas trocamos a válvula do fundo, o que é feito por dentro das panelas. De modo que há uma regulação, vamos dizer, necessária, devido a necessidade de um homem ter que entrar na panela e preparar o poço da válvula. Após essa operação, é feita a secagem do material que serviu para o assentamento da válvula.

Ivan G. Dutra (7) — Gostaria de ter um esclarecimento sobre a duração de revestimentos idênticos, sobre seu tipo, procedência e fabricação. Desejo congratular-me com a CSN, de Volta Redonda, talvez expressando o pensamento de todos os produtores de refratários, pelo estudo que nesse sentido essa grande firma está fazendo. Sabemos todos que os produtores de refratários estão preocupados, de sua parte, em aumentar a vida dos refratários nas panelas.

O. Barbosa — Não declinamos o nome das firmas, mas em Volta Redonda usamos tijolos de duas procedências. Esses dados estatísticos se referem aos tijolos de uma só procedência.

(7) Membro da ABM; Engenheiro da SOCOTEC; São Paulo, SP.