

CARACTERES COQUEIFICANTES DO CARVÃO NACIONAL ⁽¹⁾

WALTER DE ALMEIDA MOTTA ⁽²⁾

RESUMO

O autor faz considerações sobre os caracteres mais importantes do coque de alto forno, a fim de estabelecer elementos para qualificação do carvão nacional. Analisa os principais meios de investigação e estudo de carvões para produção de coque; apresenta, em cada caso, os resultados obtidos com o carvão de Santa Catarina. Conclui, finalmente, que se trata de excelente carvão para a produção de coque, com um único fator de limitação nas misturas: a porcentagem de cinza.

1. INTRODUÇÃO

Sem esquecer os primeiros resultados obtidos na Europa, em amostras levadas por Fleury da Rocha, pode-se dizer que os estudos objetivos com o carvão de Santa Catarina para produção de coque datam de 1941; foram realizados nos Estados Unidos, laboratórios da Koppers Co., para a Companhia Siderúrgica Nacional. Com a operação da usina de Volta Redonda, estes estudos preliminares foram desenvolvidos, firmaram-se novos conceitos de qualificação e orientação tecnológica para compra de carvões importados e suas misturas com o carvão nacional. Apesar da soma considerável de dados acumulados, muito pouco, entretanto, se divulgou até hoje.

Em conseqüência, as reais possibilidades do carvão de Santa Catarina são ainda discutidas sob um clima emocional, talvez devido a interesses contrariados. Esta contribuição tem a finalidade de divulgar os caracteres coqueificantes do nosso carvão, estudados e pesquisados pelo autor e seus colaboradores, em equipamento standard; compará-los com os de outros carvões coqueificáveis e interpretar resultados para a operação de uma Coqueria. Espera assim o autor que estes elementos possam ser úteis às novas usinas de redução a coque, ora em construção, e aos técnicos que se dedicarem ao assunto.

(1) Contribuição Técnica n.º 406. Discutida na Comissão «G» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

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

2. QUALIFICAÇÃO DO COQUE PARA ALTOS FORNOS

É voz comum, entre os superintendentes dos altos fornos, que o coque deve ter limites estreitos para a granulometria, boa análise química, bons caracteres físicos e, sobretudo, ser *UNIFORME*, uniforme sob todos os pontos de vista, para maior regularidade de operação dos altos fornos e menor consumo por tonelada de gusa^{1, 2, 3}.

3. GRANULOMETRIA DO COQUE PARA ALTOS FORNOS

A fim de aumentar a permeabilidade da coluna de carga nos altos fornos, diminuir resistência ao sôpro, evitar ou diminuir formação de "canais", conseguir maior regularidade da descida da carga, possibilitando maior regularidade de operação, os técnicos em altos fornos desejam que o coque tenha: uniformidade granulométrica e limites estreitos de granulometria.

A uniformidade granulométrica é, quase sempre, muito fácil de ser obtida; depende, na maioria dos casos, do equipamento de beneficiamento do coque. Quanto aos limites para o tamanho do coque de alto forno, isto é, percentagem retida em peneira de malha de 100 mm (peneira de 4") e através da peneira de 50 mm (peneira de 2"), é, a um tempo, questão de ordem econômica e tecnológica. De ordem econômica, porque, quanto menor a tolerância para estes limites, maior a produção de finos ou "*moinha de coque*", de menor cotação comercial; de ordem tecnológica, porque o tamanho do coque, ao ser desenhado, "*run of oven*", irá depender, sobretudo, da mistura de carvão e do tempo de coqueificação.

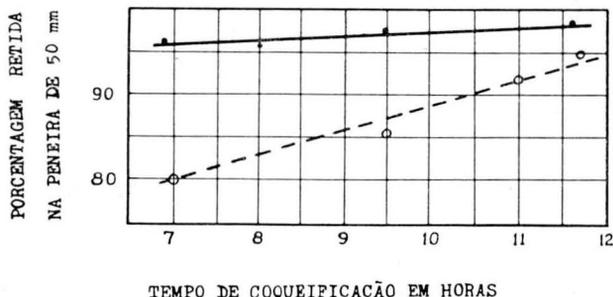


Fig. 1 — Influência do tempo de coqueificação na granulometria do coque; ensaio em forno Russell. Linha cheia para o carvão nacional; pontilhada para a mistura 40% Nacional, 15% Pocahontas e 45% Kopperston 1 e 2.

4. GRANULOMETRIA DO COQUE COM O CARVÃO NACIONAL

O carvão de Santa Catarina, geralmente denominado de NACIONAL, quando coqueificado sem mistura nos fornos de largura média convencional de 425 mm a 450 mm, produz um coque de elevada granulometria. Para que se atendam aos limites tidos como razoáveis para a operação dos altos fornos, isto é, menos de 6% retido na peneira de 100 mm e menos de 25% através da peneira de 50 mm, precisará ser *britado*, com conseqüente aumento da produção de finos.

Normalmente, para velocidade de coqueificação média de 25 mm/hora, nas misturas de carvão bem balanceadas, a produção de finos (coque de forja + moinha) não ultrapassa a 5% do coque total. Com o carvão Nacional, entretanto, quando sem mistura, sob as mesmas condições de velocidade de coqueificação, a percentagem de finos, em conseqüência do britamento intensivo, eleva-se a 8%. Nas usinas integradas que trabalhem com sinter, o aumento da produção de finos não tem grande significação, uma vez que serão aproveitados no processo de sinterização.

Não fôsse a elevada percentagem de cinza do carvão tipo metalúrgico (17% a 18%) poder-se-ia concluir: *É o carvão ideal para produção de coque de fundição*, pois, para o coque de cubilô, só se faz restrições às frações menores de 75 mm.

5. PORQUE O COQUE DO CARVÃO NACIONAL TEM ELEVADA GRANULOMETRIA

A granulometria elevada do coque fabricado com o carvão Nacional, sem mistura, é conseqüente, a um tempo: do excelente poder aglutinante dêsse carvão e da elevada percentagem de cinza ou material inerte.

Com efeito, do elevado poder aglutinante da massa carbonosa pròpriamente dita, porque poucos, muito poucos mesmo, são os carvões que produzem coque com os mesmos caracteres físicos quando se lhes adiciona, propositadamente, para fins de estudo, quantidade de inertes equivalente à percentagem de cinza do nosso carvão, tipo metalúrgico. O tamanho do nosso coque é também função da percentagem de cinza, como verificou o autor (vide figura 2).

Convém lembrar que nas usinas americanas, quando se deseja produzir coque de fundição, de maior granulometria, ou se aumenta o tempo de coqueificação ou se adiciona material inerte, moinha de coque ou carvão antracitoso^{4, 5}. O efeito

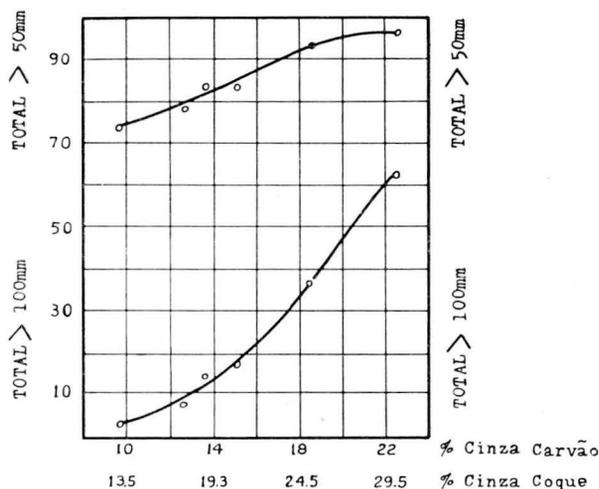


Fig. 2 — Influência da cinza do carvão nacional no tamanho do coque, mantida constante a velocidade de coqueificação. Resultados obtidos no forno Russell.

dêsses inertes é semelhante ao da cinza do carvão Nacional. Este artifício não é necessário para se produzir *coque de fundição*, quando o carvão Nacional participa da mistura com mais de 50%.

Nas usinas americanas, trabalhando com carvões de baixa cinza, um dos problemas, quando se estuda uma nova mistura para coque de alto forno, é elevar a granulometria do coque, sem aumento do tempo de coqueificação e sem adições de inertes. No Brasil, entretanto, participando o carvão brasileiro na mistura de 20% a 40%, praticamente não existe dificuldade a respeito, ainda que os outros carvões participantes não sejam de "rank" elevado. Por exemplo, não se verificou diferenças significativas na granulometria do coque quando se substituiu o carvão Elkhorn-3 pelo Kopperston I e II, apesar de terem "ranks" bem diferentes.

6. ANÁLISE QUÍMICA DO COQUE

Na linguagem prática, objetiva, usada nas usinas, quando se fala em análise química do coque, só se faz referência às percentagens de enxôfre e cinza e à composição desta última; mesmo porque a matéria volátil é praticamente constante (entre 1% e 2%) e o carbono fixo irá variar inversamente com a cinza.

A cinza do coque, para um dado carvão ou mistura, é uma relação percentual entre a cinza do carvão e o rendimento em coque.

Para estimativa do rendimento em coque existem várias fórmulas empíricas. As mais usadas são a de J. D. Doherty, por muitos anos adotada pelo "Bureau of Mines", USA, onde

$$\text{Rendimento em coque} = 100 - \frac{(\text{Matéria volátil do carvão})}{1,16}$$

e a de H. H. Lowry⁶, cujos resultados muito se aproximam dos verificados industrialmente em Volta Redonda:

$$\text{Rendimento em coque} = 19 + 0,79 (\text{C. F.} + \text{cinza}).$$

Por esta fórmula, o carvão metalúrgico de Santa Catarina recebido em Volta Redonda (com 17,5% de cinza; 31% de matéria volátil e 51,5% de carbono fixo), terá rendimento de 73,5% em coque total e, para a cinza, 22,3%:

$$\frac{100 \times (\text{cinza do carvão})}{(\text{rendimento em coque})} = \frac{17,5 \times 100}{73,5} = 22,3\%$$

Quanto ao enxôfre, trabalhando com carvões americanos, permanece no coque 80% a 85% do enxôfre da mistura; com o carvão brasileiro, entretanto, apenas 70% do enxôfre fica no coque, o que não deixa de ser interessante. O carvão com 1,5% de enxôfre recebido de Santa Catarina, produzirá, portanto, coque de 1,05% de S. Os dados acima referem-se a rendimentos e análises verificados em coque produzido em baterias do tipo "by-product".

7. CINZA — FATOR DE LIMITAÇÃO DO CARVÃO DE SANTA CATARINA NAS MISTURAS

É ponto pacífico, conhecido por todos os técnicos familiarizados com a operação dos altos fornos, que maior percentagem de cinza no coque significa maior volume de escória, com o correspondente decréscimo da capacidade de produção dos altos fornos, bem assim maior consumo de coque por tonelada de gusa produzido. Da mesma forma, maior percentagem de enxôfre no coque contribui para aumento do volume de escória, perda de capacidade de produção e maiores valores para a relação coque/gusa. Ôbviamente, os valores coque/gusa variam

de uma usina para outra, com a técnica de operação, as outras matérias-primas e o próprio regime de produção dos altos fornos.

John Griffen¹, depois de estudar exaustivamente o assunto e reunir dados de rendimentos e observações de várias usinas americanas, conclui que cada acréscimo de 1% de cinza ao coque (coque normal, das usinas nos Estados Unidos, com 9,5% de cinza em média) importa em perda de 3% a 6% de capacidade de produção dos altos fornos.

O aumento da percentagem do carvão Nacional na mistura importa no aumento da cinza do coque. Os reflexos de ordem econômica para nossa siderurgia não seriam, entretanto, decorrentes apenas da redução de produção e do maior consumo de coque, pois teria que arcar, em conseqüência da maior demanda de carvão, com maior ônus da produção obrigatória do carvão tipo *vapor*, na usina de beneficiamento em Santa Catarina. Êste

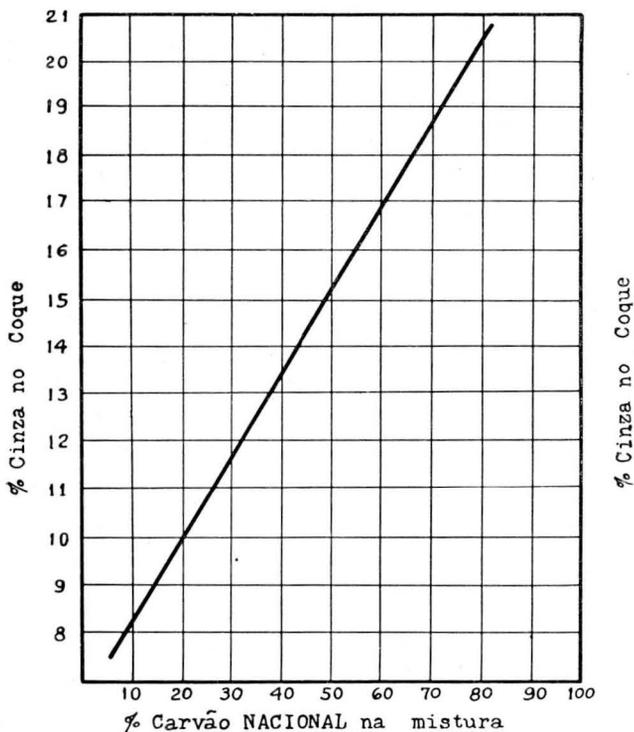


Fig. 3 — Cinza no coque em função da percentagem do carvão nacional na mistura, supondo mistura com carvões importados de 5% de cinza e 30% de matéria volátil.

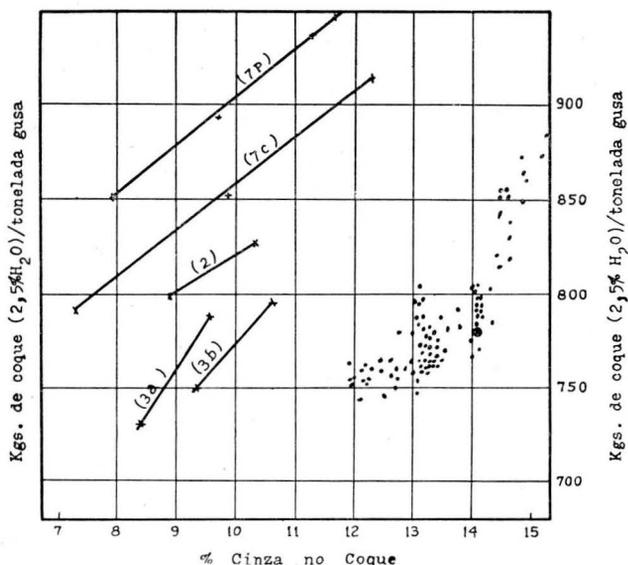


Fig. 4 — Coque (2,5% umidade)/tonelada gusa, em função da cinza. Os pontos à direita referem-se a Volta Redonda; as demais curvas referem-se a usinas americanas (1).

tipo de carvão, de alta cinza, é de colocação cada vez mais difícil com a dieselização dos nossos transportes marítimo e ferroviário. Trata-se, aliás, de problema recentemente examinado no “Centro Moraes Rêgo”, nos debates que se seguiram à Conferência do Eng. Anibal Alves Bastos, quando foi apresentada a orientação da C. S. N. a respeito, pelo seu Diretor Industrial, Eng. Renato Frota Rodrigues de Azevedo e sua equipe de assessores. (*)

Não resta a menor dúvida, os dólares gastos com a importação de carvões de baixa cinza para as misturas da C. S. N., possibilitando maior produção da usina com o mesmo equipamento, significa grande economia de divisas para o País, pela redução conseqüente de importação de chapas e perfilados para suprir o deficit da produção nacional.

Examinando os dados de operação dos altos fornos de Volta Redonda (onde já se trabalhou com coque de 28% a 10% de cinza) verifica-se que a curva coque/gusa em função da cinza, sofre significativa inflexão, ascendente, a partir de 14%,

(*) Ver “Posição do Carvão Nacional no panorama econômico brasileiro”, pelo Eng. Anibal Alves Bastos. “Geologia e Metalurgia”, número 21, de 1960; página 93 e seguintes.

com o correspondente reflexo de ordem econômica. Limitando dessa forma em 14%, máximo, a cinza do coque nessa usina, para que o carvão Nacional participe em maior proporção na mistura, será necessário:

- a) Intensificar o beneficiamento no lavador e
- b) Importar carvões para mistura com baixo teor de cinza.

Para a primeira hipótese, não é de se esperar alterações substanciais do esquema de beneficiamento do lavador de Capivari, considerando as curvas de lavabilidade do nosso carvão, com excessiva quantidade de material a ser removido de densidade aproximadamente igual⁷; porque, pequena redução de densidade de meio flutuante, para redução da cinza, equivale a considerável redução de rendimento do carvão beneficiado.

Quanto ao segundo aspecto do problema, há muito vem sendo encarado racionalmente, — os carvões importados pela C. S. N. nos últimos nove anos são, em análise química e em propriedades coqueificantes, melhores que os consumidos, em média, pelas próprias usinas americanas. Em face do esquema delimitado, a participação do carvão Nacional na mistura fica praticamente limitada a 40%.

TABELA 1

Análise do carvão nacional, tipo metalúrgico

<i>Análise Elemental %:</i>	
Carbono	67,35
Hidrogênio	4,60
Nitrogênio	1,50
Enxôfre	1,50
Cinza	17,50
Oxigênio (por diferença)	7,55
<i>Análise da cinza %:</i>	
SiO ₂	56,12
Al ₂ O ₃	31,26
Fe ₂ O ₃	8,40
Mn ₂ O ₃	traços
CaO	0,78
MgO	0,95
TiO ₂	1,62
P ₂ O ₅	0,13
SO ₃	0,19

8. CARACTERES FÍSICOS DO COQUE

É ponto pacífico que o coque (o próprio suporte da carga dos altos fornos) representa em volume cêrca de 70% das matérias-primas e que deve descer, para uma boa operação, do tôpo até à zona das ventaneiras, com um mínimo de degradação por abrasão, queda e compressão. A fim de prever o comportamento dêsse material às severas condições de operação dos altos fornos, existem vários ensaios físicos, podendo ser reunidos em três grupos:

- 1.º) Teste de cilindro ou abrasão;
- 2.º) *Shatter* ou teste de resistência à queda;
- 3.º) Teste de compressão.

Os grandes países industriais (Estados Unidos, U. R. S. S., Alemanha, França e Grã-Bretanha) têm normas diferentes para êstes ensaios físicos. Presentemente, a *International Organization for Standardization* (ISO), dependência da ONU, vem tentando criar normas internacionais para avaliação de carvões e coque, dando preferência aos métodos europeus. A rigor, quanto aos ensaios físicos para o coque, não se pode dizer que um seja melhor que os outros; na realidade, são métodos empíricos, com aceitável coeficiente de reprodutibilidade de resultados. Ainda mais, existe relação linear entre alguns, como por exemplo, o *MICUM* (*Mission Interalliée de Contrôle des Usines et des Mines en Allemagne*), instituído em 1924, e o *Tumbler Test*, da ASTM, Standard D294-29. Foge aos objetivos dêste trabalho análise detalhada do assunto.

Como os laboratórios da C. S. N. estão equipados com aparelhagem americana, os resultados adiante apresentados, bem assim as interpretações, estão conforme normas ASTM e pontos de vista da tecnologia americana.

O *Tumbler Test* fornece dois valores, o *fator de estabilidade*, fração retida na peneira de 26,8 mm, como índice da resistência do coque à abrasão; e o *fator de dureza*, fração retida na peneira de 6,7 mm. Na prática industrial, os técnicos em altos fornos não emprestam grande significação ao fator de dureza. Quanto ao fator de estabilidade no *BOM COQUE*, deve êle ser igual ou superior a 48.

O carvão de Santa Catarina, quando coqueificado sem mistura (velocidade de coqueificação de 25 mm/hora, em forno de

425 a 450 mm largura média; com pulverização de 70% através da peneira de 3,16 mm e cinza de 17,5%), tem *fator de estabilidade*, ASTM, 46. Velocidade de coqueificação e pulverização do carvão foram citados acima, porque o *fator de estabilidade* se altera em função dessas duas variáveis de operação (vide figuras 5 e 6).

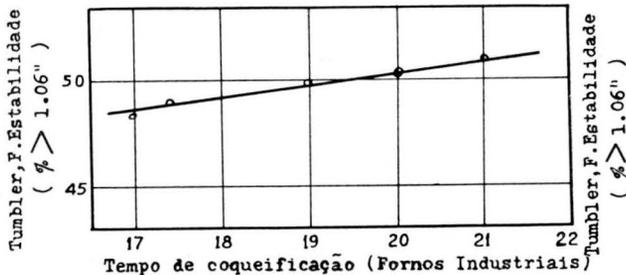


Fig. 5 — Tumbler em função do tempo de coqueificação.

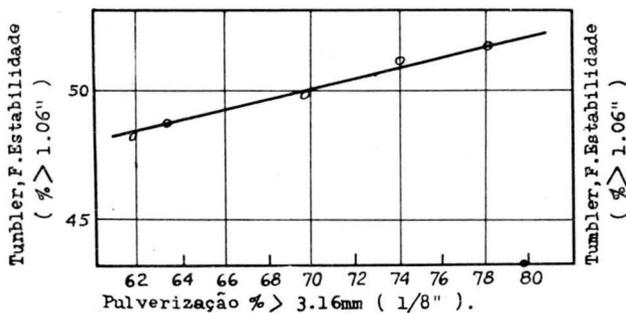


Fig. 6 — Tumbler em função da pulverização do carvão nacional.

Reduzindo a percentagem de cinza do carvão Nacional, chega-se a resultados verdadeiramente surpreendentes para a resistência do coque à abrasão (fig. 7). O Autor não conhece outro carvão do mesmo "rank" que apresente resultados tão elevados; acredita que, somente depois de minucioso estudo dos constituintes petrográficos, possa encontrar explicação para esses resultados. Causou, de fato, grande surpresa a muitos tecnolo-

gistas americanos, na recente comunicação apresentada pelo autor em congresso da AIME⁸, o fato do carvão Nacional (quando com 9,5% de cinza; 35% de matéria volátil), produzir coque de estabilidade 55, coque obtido no forno tipo Russell, com 7 horas de coqueificação, cuja tendência, nas condições acima, é baixar os resultados de 3% a 7%.

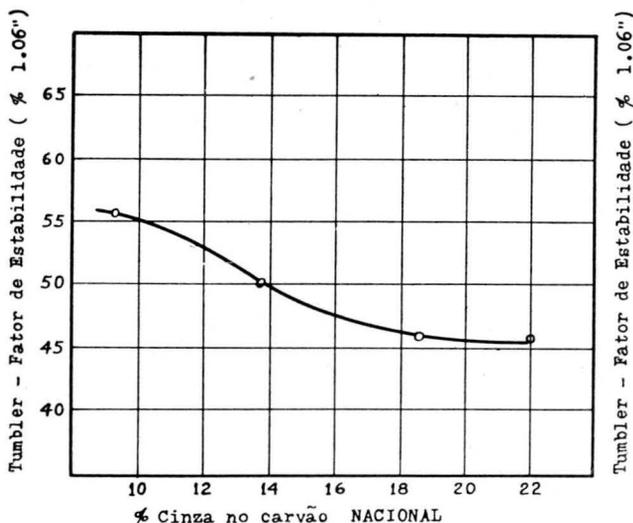


Fig. 7 — Influência da cinza do carvão nacional no tumbler do coque. Ensaio no forno Russell.

O *Shatter Test* (ASTM; Standard D 141-23) mede a resistência do coque ao impacto e dá idéia da maior ou menor tendência do coque à fratura, à redução granulométrica, durante o abastecimento dos silos e no interior dos altos fornos durante os carregamentos. Qualificando, o BOM COQUE deve ter "shatter" superior a 70%. O carvão Nacional, sem mistura e com 17,5% de cinza, coqueificado nas mesmas condições já vistas, tem "shatter" 82.

O ensaio de compressão não foi normalizado pela ASTM e os laboratórios da C. S. N. não dispõem da máquina de Wolf, onde o coque é testado sob condições semelhantes às existentes nos altos fornos, 1,75 a 2 kg/cm², pressão de sôpro, razão por que não foi possível determinar êsse índice de qualificação para o coque de carvão Nacional.

9. POROSIDADE DO COQUE

As reações que se processam com o coque AF, sendo de "superfície", isto é, dependendo da superfície do coque exposta ao sopro, aos gases ou ao próprio banho metálico, é razoável que, aumentando a porosidade para uma mesma granulometria, favorece-se as reações citadas, daí constituir um dos índices de qualificação do coque. O BOM COQUE deve ter porosidade superior a 47%.

O carvão Nacional, com 17,5% de cinza, tem 46 de porosidade. A influência da porosidade na operação dos altos fornos é assunto controvertido. De fato, com pequena redução granulométrica, o aumento de superfície da carga total de coque é muito maior do que variações de 1% a 2% da porosidade⁹. Não se observa, entretanto, a correspondente reação nos altos fornos. A respeito, o autor limita-se a aceitar o que a prática industrial aconselha; não deseja descer a maiores detalhes, mesmo porque não existem conclusões definitivas. O mesmo, aliás, pode-se dizer sobre a *REATIVIDADE* do coque.

10. OUTROS FATORES A CONSIDERAR NA QUALIFICAÇÃO DOS CARVÕES PARA COQUE

Uma coqueria é a obra de alvenaria mais cara de uma usina siderúrgica. Por outro lado, o tempo de reconstrução ou reparo é grande; um êrro de operação, de mistura ou de seleção dos carvões, pode significar o colapso dos fornos. Para enfornar um carvão ou mistura, não basta saber que o coque terá determinados caracteres físicos e químicos. É necessário que o carvão suporte estocagem, por período razoável, sem alteração significativa de propriedades; que o coque não apresente dificuldades de desenformamento; não desenvolva pressão de coqueificação capaz de prejudicar a alvenaria; possa ser coqueificado à velocidade normal e que não possua compostos químicos que ataquem o refratário nas condições de trabalho.

11. ESTOCAGEM DE CARVÃO PARA PRODUÇÃO DE COQUE

Várias coquerias (especialmente na Inglaterra, Alemanha e França), possuem pátio de estocagem de carvão para poucos dias de produção, representando o estoque um volante para

compensar as oscilações de produção das minas de carvão. Para essas usinas, localizadas na bôca das minas, não existe portanto problema de estocagem, porque poucos são os carvões que alteram suas propriedades coqueificantes, oxidação superficial, em apenas 10 ou 15 dias.

No Brasil, entretanto, entre a data de mineração do carvão (em Santa Catarina ou na América) e o seu carregamento nos fornos de coque decorrem, em média, três a quatro meses; é conveniente a seguinte organização de serviço:

- 1.º) Seleção de carvões que não sejam de fácil oxidação.
- 2.º) Fazer duas pilhas para cada tipo de carvão, uma em formação e outra em consumo, mantendo desta forma a rotação do estoque.
- 3.º) Controlar, com termo-par, a temperatura das pilhas.
- 4.º) Controlar, com a plastômetro de Geiseler, as alterações de características plastificantes do carvão em estoque.
- 5.º) Formar as pilhas de estoque em camadas delgadas, superpostas, com ajuda de "scrappers", fazendo-se dessa forma, ao mesmo tempo, a compactação das pilhas para reduzir a oxidação.
- 6.º) Cortar as pilhas, para consumo, com o maior ângulo possível, com os próprios "scrappers". Cada porção retirada representará uma amostra média da pilha, assegurando dessa forma, uniformidade do coque.

Observações sôbre o carvão Nacional quanto à estocagem:

- O carvão Nacional recebido em Volta Redonda nem sempre é uniforme. Muitas vêzes observam-se variações no número índice de plasticidade Geiseler, carvão recém-recebido, — o que indica embarque de estoque velho ou embarque de carvão recém-lavado, mas há muito minerado.
- O carvão Nacional, quando não compactado e estocado em pilhas altas (mais de 10 m), oxida-se rapidamente. A temperatura no meio da pilha, em um mês de estocagem, pode ser superior a 85°C. Em oito meses, quando estocado nas condições acima, a pilha entra geralmente em combustão espontânea.
- O carvão Nacional (com a granulometria com que é recebido presentemente em Volta Redonda, 38% retido na peneira de 12,6 mm e 65% na peneira de 3,16 mm) é de difícil compactação, por falta de finos para encher os vazios. Mesmo assim, fazendo a compactação possível, rotação das pilhas, etc., tomando, enfim, as providências já apontadas, não se altera, significativamente, quanto aos caracteres coqueificantes.

12. PRESSÃO DE COQUEIFICAÇÃO

De um modo geral, quanto menor o teor de matéria volátil do carvão, menos fluida se torna a massa carbonosa na fase plástica e mais rápida a coqueificação. Desta forma, os gases formados durante a coqueificação encontrarão maior dificuldade para chegar até ao tópo do forno, aumentando consideravelmente as pressões internas. Carvões com 18% de matéria volátil chegam a desenvolver, sôbre as paredes laterais do forno, pressões superiores a 1,4 kg/cm².

Por outro lado, dificilmente se encontrará um carvão coqueificável, com 30% ou mais de matéria volátil, que desenvolva pressão perigosa, isto é, SUPERIOR a 0,105 kg/cm². Generalizando, a pressão de coqueificação irá depender, principalmente, do "rank" do carvão.

O aparelho mais usado para determinação dessas pressões (com maior número de estudos e observações) é o forno de parede móvel Russell^{10, 11}. Vários fatores influem na pressão de coqueificação: tipos e proporção dos carvões misturados, pulverização do carvão ou mistura, umidade, densidade (pêso por m³) da carga, tempo de coqueificação, etc. Para que se possa interpretar resultados e tirar conclusões seguras sôbre determinado ensaio, é necessário que se padronizem as condições acima. Condições usadas pelo autor em Volta Redonda, para determinação de pressão de coqueificação:

- 1.º) Umidade do carvão ou mistura: igual ou menor que 1%.
- 2.º) Tempo de secagem da amostra: o menor possível, para evitar oxidação (a oxidação baixa a pressão) cêrca de 6 horas.
- 3.º) Pulverização do carvão ou mistura: a mesma que se pretende trabalhar nos fornos industriais, geralmente 70% através de 3,16 mm.
- 4.º) Densidade da carga: mais de 0,822 kg/dm².
- 5.º) Temperatura de aquecimento: suficiente para coqueificação de 6,5 a 7 horas, correspondente a 1.345°C na câmara de combustão, parede do forno de tijolos sílico-aluminosos, ou de 1.325°C para tijolos de sílica de melhor condutibilidade térmica.
- 6.º) Término do teste: quando a temperatura no centro da carga atinge 850°C.
- 7.º) **Pressão perigosa para os fornos da Companhia Siderúrgica Nacional e Companhia Siderúrgica Paulista: QUANDO MAIOR QUE 0,105 kg/cm², fazendo os testes de acôrdo com os itens anteriores.**

O carvão Nacional, testado sem mistura, nas condições acima, desenvolve pressão de coqueificação, máxima, de 0,042 kg/cm², não representando qualquer perigo para a alvenaria dos fornos de coque (vide figura 8).

Quando se adiciona INERTES, como moinha de coque ou carvão antracitoso, a um carvão ou mistura, a pressão de coqueificação da mistura será menor¹². Assim, seria de se admitir que, lavando-se melhor o carvão de Santa Catarina para baixar a cinza, a pressão de coqueificação aumentasse. Tal não se verifica, entretanto; a curva de pressão do carvão brasileiro (fig. 8), é tão representativa para o carvão de 17,5% de cinza, como para o de 9,5% de cinza.

O fenômeno, aparentemente anormal, é fácil de ser explicado. A redução da cinza no carvão Nacional importa em aumento de fluidez da fase plástica de coqueificação (verificação feita no plastômetro de Geiseler, figs. 9, 10 e 11). Maior fluidez da fase plástica importa em menor pressão, neutralizando, dessa forma, o efeito contrário provocado pela retirada de inertes.

Uma das características mais interessantes do carvão de Santa Catarina é a sua propriedade de "amortecer", nas misturas, a pressão dos carvões de "rank" elevado. Dessa propriedade tira-se partido em Volta Redonda, procurando fazer misturas com um máximo de carbono fixo, para aumentar o rendimento em coque.

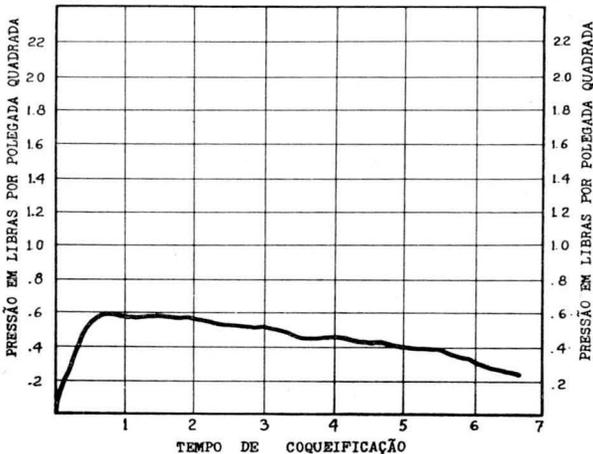


Fig. 8 — Curva de pressão de coqueificação do carvão nacional sôbre as paredes laterais do forno. Ensaio no forno Russell.

13. VELOCIDADE DE COQUEIFICAÇÃO

Como é natural, a temperatura no interior dos fornos de coque, quando carregados, não é uniforme, a não ser no término da coqueificação, quando a diferença da temperatura do coque junto às paredes do forno e o centro da carga é pequena, menor que 100°C.

As temperaturas da carga de carvão no forno de coque aumentam à medida que a fase plástica progride em direção ao centro, sendo que esta velocidade de coqueificação não é a mesma para todos os carvões. Quando o carvão tem elevado teor de oxigênio (acima de 11,5), a velocidade de coqueificação, para uma mesma temperatura, é notadamente menor. Estes carvões têm menor intervalo de temperatura entre ponto inicial e final na curva de plasticidade (plastômetro de Gieseler), camada, portanto, mais delgada para a fase plástica, — em consequência menor condutibilidade térmica. Nestas condições, a tendência da temperatura das paredes do forno será de aumentar.

*Do ponto de vista de fabricação, isto representa um perigo para os fornos de coque, porque, quando a temperatura das paredes, face voltada para o coque, atinge a 1.170°C, há reação da sílica do refratário com o óxido de ferro (da cinza), formando a *faialita*, provocando escarificações, dificultando os desenfornamentos e inutilizando, em pouco tempo, a bateria de fornos*¹³.

O autor empresta ao assunto grande importância, não achando conveniente que fornos de coque de 455 mm sejam operados com velocidade de coqueificação, média, superior a 25 mm/hora, quando a temperatura das paredes no término da coqueificação, face voltada para o coque, fica a poucos graus abaixo da de formação da *faialita*.

Isto não quer dizer que carvões com elevado teor de oxigênio não possam ser coqueificados. Neste caso, a coqueria será projetada especialmente para isto (fornos mais estreitos) e operada com tempo de coqueificação relativamente maior.

O carvão Nacional, como seria de se prever pela análise elementar (quadro 1) e pelas curvas de plasticidade (figuras 9, 10 e 11), *tem excelente gradiente térmico para a coqueificação e pode ser coqueificado, à velocidade média de 25 mm/hora nos fornos de 425 a 450 mm, sem nenhum perigo para o refratário de sílica.* Os resultados da figura 12, determinados no forno Russell, vêm consubstanciar o que se afirmou acima.

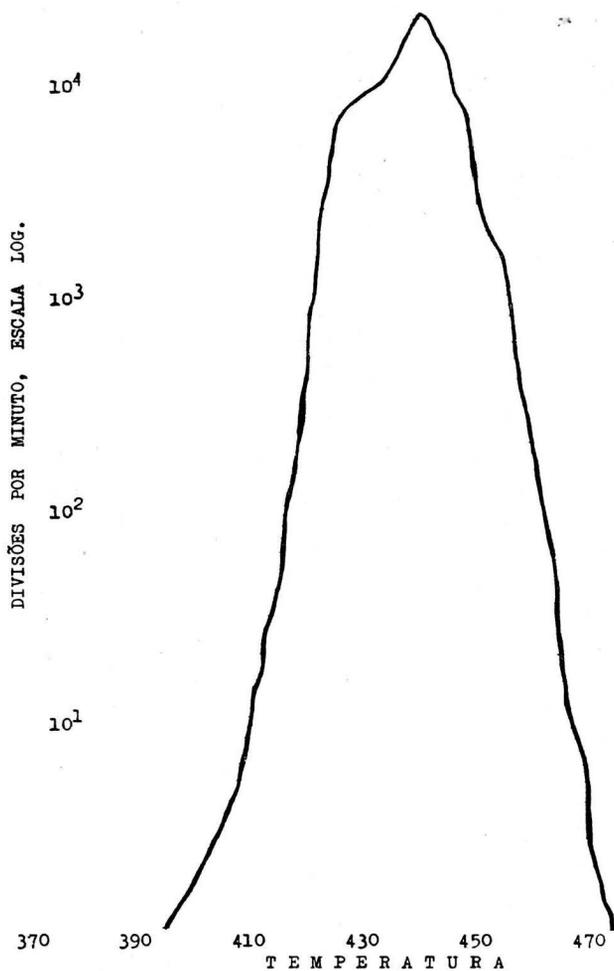


Fig. 9 — Ensaio de plasticidade (Aparelho de Gieseler) para carvão nacional com 17,6% de cinza: Fluidez máxima 22.000; Fluidez, máxima 438°C; Fluidez, início 394°C; Fluidez, término 473°C; Faixa de fluidez 79°C; Total 122.000.

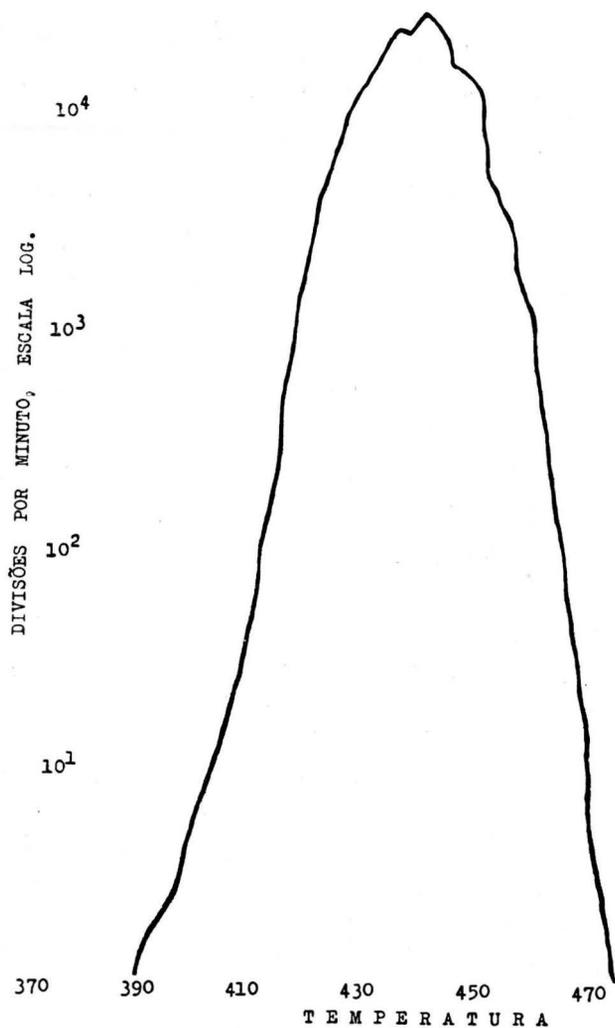


Fig. 10 — Ensaio de plasticidade para carvão nacional com 13,4% de cinza: Fluidez máxima 26.600; Fluidez, máxima 438°C; Fluidez, início 390°C; Fluidez, término 474°C; Faixa de fluidez 84°C; Total 165.000.

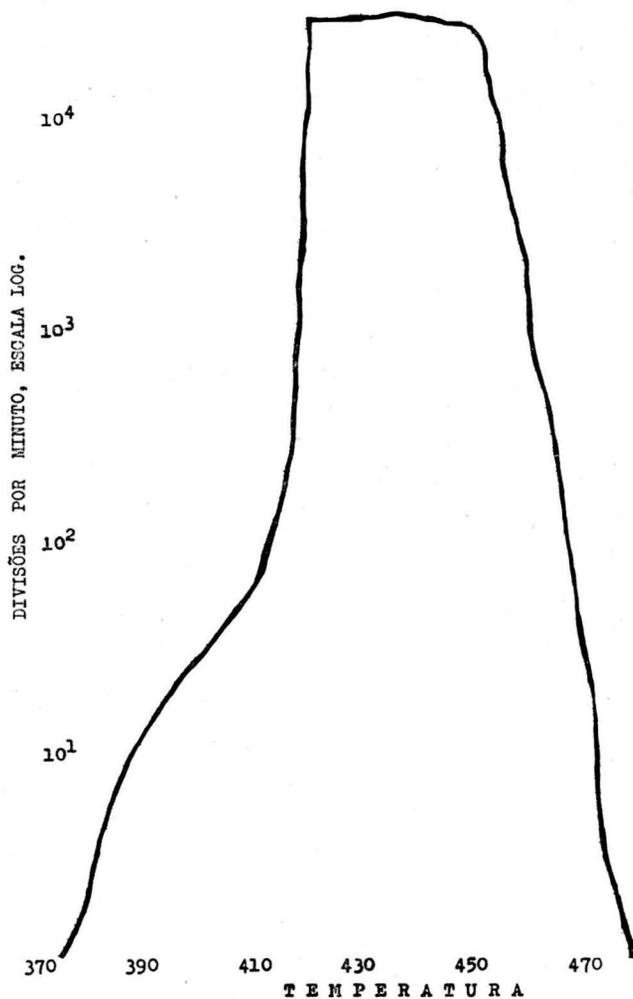


Fig. 11 — Ensaio de plasticidade para carvão nacional com 6,7% de cinza: Fluidez máxima 26.600; Fluidez, máxima 429-447°C; Fluidez, início 372°C; Fluidez, término 474°C; Faixa de fluidez 102°C; Total 331.000.

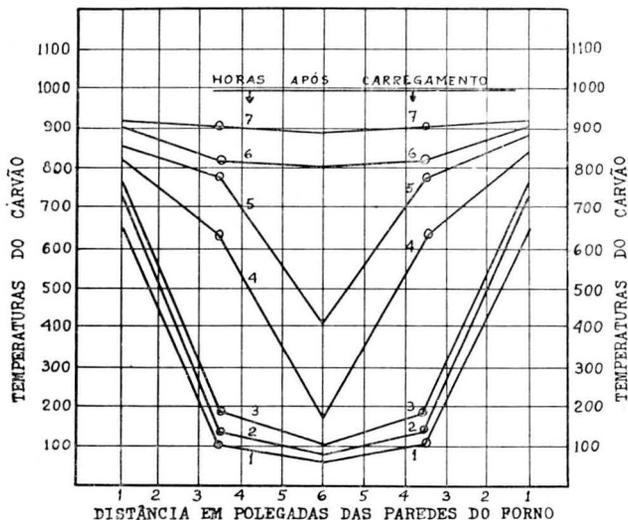


Fig. 12 — Gradiente térmico da coqueificação do carvão nacional, com tomadas de temperatura em três pontos, de hora em hora. Ensaio no forno Russell.

14. O CARVÃO NACIONAL TESTADO NO DILATÔMETRO ARNU

Na Alemanha empresta-se cada vez mais importância à curva de dilatação (dilatômetro ARNU; norma DIN-51739), para qualificação dos carvões para a produção de coque metalúrgico. É assim, os principais exportadores americanos aparelham seus laboratórios para atender às exigências das especificações desse mercado. O autor, entretanto, considera os resultados do dilatômetro ARNU com as mesmas restrições que fez aos de todos os outros ensaios, como por exemplo, "*Free Sweeling Index*", nos quais são empregadas apenas algumas gramas de material. Os ensaios realizados pelo autor (usando o dilatômetro ARNU, com a assistência do tecnologista Luís Verni, nos laboratórios de pesquisa da Clinchfield Coal Co., nos Estados Unidos), com amostras de carvão brasileiro, de Santa Catarina, permitem estas conclusões.

E de fato, o carvão Nacional, quando com 17,5% de cinza, tal como recebido em Volta Redonda, testado segundo as normas alemãs, seria classificado no grupo 2 (veja Tabela 2), de FRACO PODER COQUEIFICANTE, em face da curva obtida para a dilatação (vide figura 13). Ora, não é isto o que se

TABELA 2

Classificação segundo normas alemãs

Resultados do Dilatômetro	Grupo	Propriedades coqueificantes do carvão
Sem movimento	0	Não coqueificante
Sòmente contração	1	Muito pouco coqueificante
$\leq 0\%$ Dilatação (Dilatação negativa)	2	Pequeno poder coqueificante
> 0 até 50% (Dilatação)	3	Médio poder coqueificante
> 50 até 140% (Dilatação)	4	Bom poder coqueificante
$> 140\%$ (Dilatação)	5	Excelente poder coqueificante

verifica pelos outros ensaios já apresentados e, muito menos, o que se obteve industrialmente em Volta Redonda.

Entretanto, êste mesmo carvão, quando beneficiado para baixar a percentagem de cinza, testado no mesmo aparelho e segundo as mesmas normas, já apresenta resultados inteiramente diversos, podendo ser qualificado como MUITO BOM, PARA A PRODUÇÃO DE COQUE (vide figuras 14 e 15).

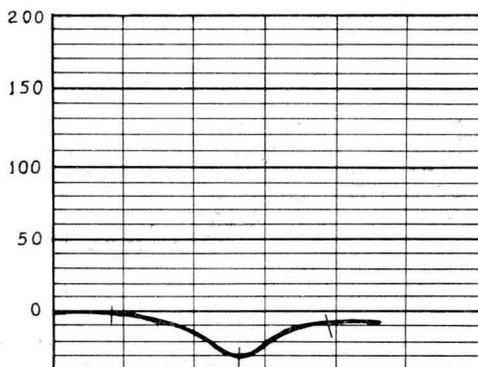


Fig. 13 — Curva de dilatação (Dilatômetro de ARNU) do carvão nacional com 17,6% de cinza. Contração: 30%; Início de fusão: 337°C; Inflexão (Temp.): 411°C; Dilatação máxima: 450°C; Dilatação em %: 6.

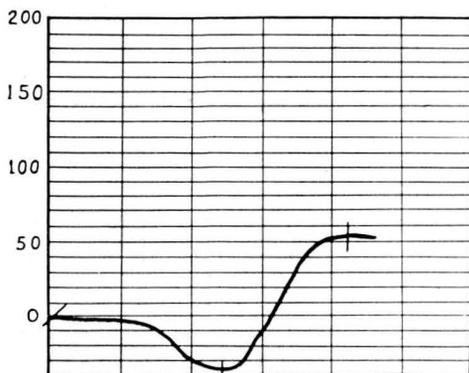


Fig. 14 — Curva de dilataçã (Dilatômetro de ARNU) do carvão nacional com 13,4% de cinza. Contração: 30%; Início de fusão: 342°C; Inflexão: 405°C; Dilataçã máxi-ma: 453°C; Dilataçã: 53%.

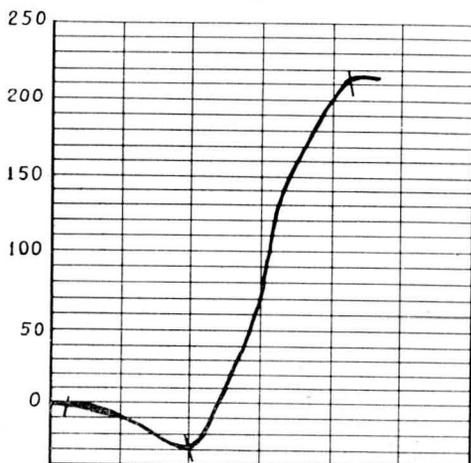


Fig. 15 — Curva de dilataçã (Dilatômetro de ARNU) do carvão nacional com 6,7% de cinza. Contração: 29%; Início de fusão: 342°C; Inflexão: 390°C; Dilataçã máxi-ma: 462°C; Dilataçã: 210.

15. CONCLUSÕES

1.º) O carvão Nacional deve ser estocado em pilhas compactadas para diminuir o efeito de oxidação superficial.

2.º) Convém que o carvão tipo metalúrgico tenha maior percentagem de finos, para melhor compactação nas pilhas de estocagem.

3.º) A percentagem de cinza no carvão Nacional tem decisiva influência na granulometria do coque (quanto maior, maior o tamanho médio do coque); na resistência à abrasão (quanto menor a percentagem de cinza maior o fator de estabilidade); no "shatter" ou fator de queda, diminuindo ligeiramente este índice quando diminui a cinza.

4.º) Do ponto de vista de operação das coquearias, não existem restrições ao uso do carvão Nacional, seja qual for sua participação na

mistura. Trata-se de carvão com bom gradiente térmico de coqueificação, ausência de cloretos e carbonatos alcalinos e outras substâncias prejudiciais às paredes dos fornos de coque.

5.º) O carvão Nacional desenvolve baixa pressão de coqueificação sobre as paredes dos fornos de coque; o pique de pressão ocorre na primeira hora de coqueificação.

6.º) As limitações de mistura para o carvão Nacional são devidas ao seu elevado teor de cinza.

7.º) O aumento do carvão Nacional na mistura importa no aumento de cinza do coque e, conseqüentemente, em perda de capacidade de produção nos altos fornos e maior consumo de coque por tonelada de gusa.

8.º) As divisas gastas hoje com importação de carvões de baixo teor de cinza para as misturas da C. S. N., representam substancial economia para o País, pois evita queda de produção da C. S. N. e, conseqüentemente, de importações de chapas e perfilados para suprir o deficit da produção Nacional.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Companhia Siderúrgica Nacional, por ter autorizado a publicação deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. JOHN GRIFFEN — *Influence of Iron-Bearing Raw Materials on Cost Effects of Ash and Sulphur of Blast Furnace Coke.*
2. JOHN GRIFFEN — *The Cost Effects in Basic Blast Furnace Practice of Ash and Sulphur Levels of Coke.*
3. WALTER T. BRAWN — *Plan to Improve Blast Furnace Coke.*
4. J. D. CLENDENIN; K. M. BARCLAY; C. C. WRIGHT — *The Technical and Economic Aspects of the Use of Anthracite Fines In By-Product Coke Production.*
5. F. J. PFLUKE — *Crushed Cok Size as Affected by Coke Breeze Admixture to Coal Prior to Carbonization.*
6. H. H. LOWRY, H. G. LANDAU e L. L. NAUGLE — *Contrib. 92. Carnegie Institute of Technology.*
7. THOMAS FRASER e ALVARO DE PAIVA ABREU — *Lavabilidade de Carvões do Brasil. Boletim N.º 13.*
8. WALTER DE ALMEIDA MOTTA — *Coke Oven Floor Repairs and Some Aspects of Brazilian Coal for Coke Production.*
9. H. H. LOWRY — *Properties of Blast Furnace Coke: Their Measurement, Significance and Control. Contribution 107, Carnegie Institute of Technology.*
10. C. C. RUSSEL — *Movable Wall Oven.*

11. H. E. HARRIS, WM. L. GLOWACKI and JOHN MITCHELL — *Coking Pressure and Its Measurement — Current Theory and Practice.*
12. CHARLES C. RUSSEL, MICHAEL PERCH and J. F. FARNSWORTH — *Reducing Coal-Expansion Pressure.*
13. W. C. RUECKEL — *Failure of Coke-Oven Walls by Reaction With Coal Ash.*



DISCUSSÃO ⁽¹⁾

F. P. Sousa ⁽²⁾ — Felicito o A. pela contribuição apresentada, de alta importância para o País. Como êle declara, por vêzes o problema do carvão nacional é discutido num clima de emoção, ao invés de ser encarado com isenção, à luz das bases técnicas, como seria desejável. Quem pode suprir essa deficiência de conhecimentos, quem pode substituir êsse clima de emoção por uma discussão lógica, quem melhor está situada para isso é a CSN, que maior experiência tem dêsse combustível e que, assim, presta um inestimável serviço ao País, trazendo a debate trabalho de real interêsse, como o que acaba de ser apresentado. Está livre a palavra aos que dela queiram fazer uso.

Amaro Guatemozin ⁽³⁾ — Trabalhamos em Monlevade com carvão vegetal, mas gostaria que o A. nos informasse sôbre a granulometria do coque nos altos fornos da CSN.

W. A. Motta ⁽⁴⁾ — O coque, em Volta Redonda, usando nos altos fornos, tem cêrca de 2% retido na peneira de 4" de malha de 20% através da peneira de 2". Desejamos que essa fração, através da peneira de 2", seja a menor possível, condicionada, naturalmente, a certos fatores de ordem econômica.

Gunter Joseph Baumann ⁽⁵⁾ — E essa fração não tem limite?

W. A. Motta — Está tôda retida na peneira de malha de 7/8". Em outras palavras, o coque de alto forno de Volta Redonda tem cêrca de 20% entre 2" e 7/8".

F. P. Sousa — Qual a média anual da percentagem de coque abaixo de 7/8" que a usina produz?

W. A. Motta — O rendimento em coque de granulometria menor que 7/8", em relação ao carvão enfornado, é de cêrca de 5%; já em relação ao coque total, atinge a 10%. Isto naturalmente varia com a mistura de carvão usada. Operando-se com carvão nacional, sem mistura com carvões importados, a percentagem de finos aumenta. Au-

(1) Contribuição Técnica n.º 406. Discutida na Comissão «G» do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Professor Catedrático na Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

(4) Membro da ABM e Autor do trabalho; Engenheiro da Usina de Volta Redonda, da CSN; Volta Redonda, RJ.

(5) Membro da ABM; do «Instituto de Investigaciones y Ensaíos» do Chile; Santiago de Chile.

menta, porque o coque 100% nacional, antes de ser beneficiado para os altos fornos, apresenta-se em grandes blocos, exigindo um britamento mais intensivo e, conseqüentemente, produzindo maior porcentagem de finos. Aliás, quando se estuda uma mistura de carvões para carregar nos fornos de coque, um dos objetivos principais é obter um coque "run of ovens" o mais próximo possível da granulometria satisfatória para a operação dos altos fornos, reduzindo dessa forma a porcentagem de finos, de menor valor comercial. Quando, entretanto, a usina dispõe de unidade de sinterização, a questão muda de aspecto.

F. P. Sousa — Perguntei quanto produz a coqueria.

W. A. Motta — No próximo ano a produção de coque com granulometria menor que 7/8" deve atingir a 55.000 toneladas.

C. D. Brosch (6) — Qual o tempo de estocagem do carvão? O A. disse que em 8 meses o carvão entra em combustão espontânea. Pergunto se o regime de chuvas influi sobre essa combustão, diminuindo-a ou acelerando-a.

W. A. Motta — Influi, acelerando a oxidação. Aliás, uma pilha de carvão, sem compactação, com seu talude natural, quando molhada pelas chuvas, forma uma verdadeira chaminé se já estiver em início de combustão espontânea. Trata-se, aliás, de questão muito bem estudada pelo "Bureau of Mines" dos Estados Unidos em uma de suas muitas publicações a respeito. Nesse trabalho explicam o fenômeno da seguinte forma: na formação da pilha, em forma de cone, há naturalmente segregação granulométrica, isto é, os pedaços maiores de carvão ficarão na base da pilha. Neste ponto, portanto, há maior facilidade para a passagem do ar, facilitando o fenômeno de chaminé, na ocasião das chuvas, pelo esfriamento do tópo da pilha. Acentuando-se dessa forma a passagem do ar através da pilha, intensifica a oxidação do carvão ou acelera a queima, se já estiver em combustão espontânea.

Tivemos em Volta Redonda, nos primeiros anos, antes que adotássemos a técnica de compactação e rodizio sistemático do estoque mínimo, vários casos de combustão espontânea. O meio mais eficaz, que então empregávamos, era o de remoção das pilhas, com quindastes, fazendo novas pilhas muito mais baixas. Todos nós que lidamos com carvão sabemos o efeito surpreendente da altura das pilhas, acelerando a oxidação.

J. B. Juvillar (7) — Esse problema de combustão espontânea existe também nos silos de carvão de Monlevade. Já, ontem, num trabalho que apresentou o Eng. Finn Malm sobre a fabricação de oxigênio, falou-se do nitrogênio impuro residual que se vai utilizar como gás protetor do carvão armazenado nos silos. (*)

Outra pergunta é a seguinte: temos informações de que os altos fornos da zona de Pittsburgh, nos Estados Unidos, trabalham com granulometria da ordem de 3 mm, bem superior, portanto, à que se apresenta no trabalho. A que se deve essa diferença?

W. A. Motta — Coque nos altos fornos de Pittsburgh com granulometria de 3 mm! É sem dúvida uma grande novidade; qual a capacidade de produção desses fornos?

(6) Membro da ABM; Engenheiro da COSIPA, São Paulo, SP.

(7) Membro da ABM; Engenheiro da CSBM; Monlevade, MG.

(*) Ver em «ABM-Boletim», o trabalho «A fabricação de oxigênio para a aciaria L. D. de Monlevade», de Finn Malm e J. B. Juvillar.

J. B. Juvillar — Não figurava.

W. A. Motta — Coque com essa granulometria média, nos altos fornos convencionais, deve ocasionar tantas dificuldades de operação que se torna quase impossível a continuidade de produção.

F. J. P. Sousa — Mas os suecos utilizam nos altos fornos coque de granulação bem menor que Volta Redonda. Não tenho o número de memória, mas eles dividem o coque disponível em duas granulometrias e adicionam separadamente. O problema é que por vêzes recebem coque de mais longe, sendo submetido a inúmeras manipulações que resultam em grande produção de finos. Como eles não tem colocação para êsses finos, separam-nos e chegam a utilizar granulometria inferior à de Volta Redonda.

W. A. Motta — Volta Redonda já chegou a utilizar coque de menor granulometria que o apresentado no nosso trabalho, fazendo os carregamentos dêsse coque separadamente, como o senhor se refere, mas os efeitos no "*coke rate*" não se fizeram esperar, subindo consideravelmente. Tratava-se de pequena quantidade de coque de forja, isto é, coque granulometria entre 7/8" e 1/4", não representando, entretanto, mais de 10% do coque total, isto é, do coque de granulometria normal para os altos fornos.

F. J. P. Sousa — Isso não constituiu problema para os senhores depois que só tem 5% de "*coke breese*", mas pode-se tornar problema para quem importar coque. Uma pergunta interessante: Volta Redonda importou coque: qual foi a degradação dêsse coque com tôda a manipulação de navios, de portos, etc.? Qual a porcentagem que ficou de moinha imprópria para uso nos seus altos fornos?

W. A. Motta — O coque que importámos tinha características muito boas, devido ao tempo de coqueificação com que foi produzido. Tratava-se de uma coqueria que fornecia gás para Filadelfia, Estados Unidos, e que, devido ao início de abastecimento de gás natural para essa cidade, operava em marcha reduzida, isto é, maior tempo de coqueificação, elevando dessa forma o fator de estabilidade do coque. Mesmo assim, a formação de finos dêsse coque, durante três meses, no nosso pátio de estocagem, foi da ordem de 10%. Estamos nos referindo à fração menor que 7/8".

F. P. Sousa — Êsse aspecto é interessante para as siderúrgicas que por acaso venham a usar coque de Volta Redonda. Constou que a ACESITA — e talvez o Eng. Frederico Albuquerque possa dar notícia a respeito — importou coque em que houve degradação de até 27% num navio.

José F. R. Albuquerque (8) — Não chegou a tanto, mas foi verificada uma perda de finos bem elevada. A importação da ACESITA foi de apenas um navio, na época a que me refiro. A manipulação do coque no pôrto de Vitória foi demorada; foi para a pilha do pôrto e, em seguida, carregado em vagões. Isso deve ter concorrido para aumentar a porcentagem de finos, imagina-se que da ordem de 5%.

C. D. Brosch — Na terceira conclusão do seu trabalho, o A. diz que a porcentagem de cinza influi de maneira contraditória quanto a granulometria do coque: quanto maior o teor de cinza, maior granulometria,

(8) Membro da ABM; Engenheiro da ACESITA; Acesita, MG.

e quanto maior a percentagem de cinza, maior o fator de estabilidade. Perguntaria: qual é, no caso do coque nacional, a percentagem ótima de cinza que mantém o fator de estabilidade?

W. A. Motta — Ao contrário. Quanto menor a percentagem de cinza no carvão nacional, maior o fator de estabilidade.

C. D. Brosch — Sômente há limitação econômica; técnica-mente, não.

W. A. Motta — Exatamente. Reduzindo-se a cinza do carvão nacional, temos, ao mesmo tempo, elevação do fator de estabilidade do coque e redução da granulometria. Sob os dois aspectos isto é interessante, porque o coque com 100% de carvão nacional, "run of oven", é, como afirmamos no nosso trabalho, grande demais, exigindo britamento intensivo e, conseqüentemente, formação de cêrca de 8% de moinha. Não obstante, devido à curva de lavabilidade de nosso carvão, não é interessante economicamente reduzir a percentagem de cinza do nosso carvão, fração metalúrgico. Resta-nos, então, o recurso de fazermos isto artificialmente, isto é, obtendo os mesmos efeitos para os caracteres físicos do coque, fazendo misturas do nosso carvão com bons carvões importados, de baixo teor de cinza.

C. D. Brosch — Um outro ponto: aqui no trabalho faz-se referência a tijolos de sílica dando uma temperatura geralmente mais alta, devido à melhor condutibilidade térmica. Do ponto de vista econômico, existe coqueria feita com um outro tipo de tijolo, para se poder comparar?

W. A. Motta — Existe. No comêço dêste século usavam-se ainda tijolos sílico-aluminosos para as paredes dos fornos de coque. Nos últimos 20 anos, entretanto, só se tem empregado tijolos de sílica nestas partes dos fornos de coque. Isto porque o tijolo de sílica tem maior resistência à abrasão; melhor condutibilidade térmica, possibilitando velocidade de coqueificação maior; ponto de fusão mais elevado e menor dilatação, dentro da faixa de temperatura de trabalho de uma coqueria.

O uso dos tijolos sílico-aluminosos nas baterias de coque está hoje limitado à primeira fileira, no sentido vertical, junto ao «espelho» dos fornos ou «jamb», como denominam os americanos; ao tôpo da bateria; ao empilhamento dos regeneradores e aos canais de gás nas bases dos regeneradores.

Por outro lado, a operação de uma bateria de coque com tijolos de sílica exige maiores cuidados, desde o aquecimento, para evitar choques térmicos, esfriamentos, com perda de cristalização da sílica, até mesmo na seleção dos carvões a coqueificar. Por exemplo, carvões ou misturas com pequena faixa de plasticidade, isto é, diferenças de temperaturas pequenas entre início e término da fase plástica, — geralmente carvões de elevado teor de oxigênio, acima de 12%, — não devem ser coqueificados à velocidade normal de uma polegada/hora. Isto porque a face das paredes dos fornos voltada para o carvão, pode atingir a 1.170°C, possibilitando formação da faialita, pela reação da sílica com o óxido de ferro da cinza do coque, provocando escarificação das paredes dos fornos e inutilizando, em pouco tempo, a bateria de fornos.

F. P. Sousa — Na leitura rápida a que procedeu, o A. parece que se referiu a que as opiniões sôbre a influência da rapidez do coque são contraditórias. Por êsse motivo, êle passou rapidamente sôbre o assunto. Embora concorde serem por vêzes contraditórias essas influências, não resta dúvida que têm influência sensível no forno. Pergunto

se Volta Redonda tem feito estudos para tirar conclusões a respeito desta influência sobre o coque que ela fabrica.

W. A. Motta — Na realidade, não se fez em Volta Redonda nenhum estudo ou trabalho experimental para se verificar diretamente a influência da *reatividade* do coque na relação coque/gusa. Na nossa usina, para a operação dos altos fornos, se tem dado mais importância aos caracteres físicos do coque e à análise química.

Temos, entretanto, entre nós, o Eng. Renato Azevedo que, antes de ser Diretor Industrial, chefiou por muitos anos a operação dos nossos altos fornos, podendo, portanto, apresentar observações a respeito.

Renato Frota Azevedo ⁽⁹⁾ — Até o presente não fizemos ainda estudos específicos para a determinação da reatividade do nosso coque; entretanto, parece-nos ponto pacífico o reconhecimento da importância dessa característica do combustível clássico dos altos fornos.

Para tornar mais clara essa afirmativa, basta que encaremos o alto forno por um ângulo diferente do que é comumente adotado. A concepção tradicional de um alto forno é aquela que define esse aparelho como produto de gusa, falando-se, assim, em fornos de quinhentas mil ou mais toneladas por dia; entretanto, talvez não seja essa definição a mais precisa. Assim é que, para produção de 1.000 t de gusa por dia, necessitaremos, com minérios ricos como os nossos, de um forno menor do que o de outros países que usam minérios pobres (25% a 30% de ferro); temos, assim, fornos desiguais produzindo a mesma tonelagem.

Parece-nos, pois, mais precisa a definição de um alto forno como um equipamento destinado a queimar coque. Assim sendo, um alto forno seria definido pela tonelagem de coque que êle seria capaz de consumir por dia, sendo a sua produção conseqüência do minério que usar.

Segundo essa concepção, é fácil perceber a importância da reatividade do coque, que teria estreita ligação com o consumo deste combustível em um alto forno.

W. A. Motta — Quando dissemos que a *reatividade* do coque é questão controvertida, não pretendíamos negar a influência que possa ter na operação dos altos fornos. Queríamos apenas salientar a impossibilidade de qualificar o coque pela *reatividade*, impossibilidade que se apresenta até mesmo por não existir ainda processo "standard" para essa determinação.

Já não ocorre o mesmo com os caracteres físicos e a análise química da cinza. Quando, por exemplo, qualificando o coque dizemos que, para ser bom, precisa ter estabilidade igual ou maior que 47, baseamo-nos numa série considerável de observações da operação de Volta Redonda e de um grande número de usinas americanas. Lamentavelmente, entretanto, já não podemos nos referir a índices, a valores, quando nos referimos à reatividade do coque e pelos quais possamos firmar conceito de qualidade.

Como disse o Eng. Corrêa da Silva, ainda não se conseguiu dados pelos quais se possa precisar tudo que se passa num alto forno. Enquanto isto, teremos que nos contentar com certas observações, embora empíricas, mas resultantes de larga experiência e daquilo que os americanos chamam de "*good practice*".

(9) Membro da ABM; Diretor Industrial da Cia. Siderúrgica Nacional; Volta Redonda, RJ.