

INFLUÊNCIA DE ALGUNS FATORES SOBRE A INTENSIDADE DE SINTERIZAÇÃO DE FINOS DE HEMATITA ⁽¹⁾

THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS ⁽²⁾

JUAN FIGUEROA VERA ⁽³⁾

RESUMO

Os autores estudaram a sinterização de finos de hematita friável com moinha de carvão vegetal em forno experimental construído no Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Os estudos abrangeram: 1) Variação do volume específico com a proporção de moinha e com a água adicionada; 2) Traçado das curvas de temperatura dos gases e vazão em função do tempo e determinação do rendimento de sinterização, e 3) Intensidade de sinterização em função da proporção de moinha.

Os volumes específicos aparentes das cargas passam por um máximo para determinado valor da umidade. Para estudar a influência da proporção de moinha, bem como a da proporção de pre-sinter, foram efetuados 54 ensaios de sinterização (3 ensaios para cada condição). O rendimento de sinter aumenta com a proporção de moinha até um determinado valor, diminuindo depois. Para estudar a intensidade de sinterização, foram determinados previamente os efeitos da carga e do tempo, tendo-se concluído que a curva de porcentagem de finos em peneira de 4,7 (como em 10 mm) já tem tendência assintótica para 29 minutos. Os valores do índice de intensidade de sinterização, segundo método proposto por um dos autores¹, aumentam com a proporção de moinha empregada, sendo mais elevados nas séries em que se empregou 20% de pre-sinter e 80% de minério do que nas em que se utilizou minério exclusivamente.

-
- (1) Contribuição Técnica n.º 432. Apresentada ao XVI Congresso Anual da ABM; Pôrto Alegre, 24 a 29 de julho de 1961.
 - (2) Membro da ABM; Chefe da Seção de Metalurgia Extrativa, Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Professor Catedrático de Metalurgia dos Metais Não-Ferrosos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP.
 - (3) Membro da ABM; Professor de Química; do Laboratório de Metais, do "Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales" — IDIEM; Assistente de Física de Metais, "Escuela de Ingenieria de la Universidad de Chile", Santiago, Chile; presentemente comissionado em estágio no Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

1. INTRODUÇÃO

A despeito da grande importância da sinterização de minérios de ferro, visando o aproveitamento de finos, a incorporação à carga de constituintes para a escória ou para o gusa, e, principalmente, o aumento da produção do alto-forno e a economia de redutor — muito pouco se conhece ainda sobre as propriedades dos sinters e sobre a influência das variáveis da carga sobre essas propriedades.

Dentre essas propriedades, a da *intensidade de sinterização*, anteriormente considerada em termos puramente qualitativos, tem real importância prática, pelas suas conseqüências sobre a redutibilidade e sobre a friabilidade dos sinters.

Em trabalho anterior, desenvolveu um dos autores¹ um método quantitativo para a *determinação da intensidade de sinterização*, servindo-se do aparelho Deval, habitualmente empregado na determinação de índice de abrasão de agregados de concreto. Da pesquisa realizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas² resultou também outra contribuição apresentada ao "First International Symposium on Agglomeration", realizado em Philadelphia em abril último³. Segundo correspondência recebida, o método proposto despertou interesse pela sua simplicidade e pela boa reprodutibilidade de seus resultados. Incidentalmente, nesse Simpósio, e num total de 35 trabalhos apresentados, apenas um outro se referia à qualificação de sinter, no caso de minério de zinco para redução do forno eletrotérmico do processo St Joseph Lead Co.⁴

A determinação, pelo mesmo critério anteriormente proposto para sinters de garnierita, do índice de intensidade de sinterização de minério de ferro em função das variáveis da carga, tem interesse prático considerável, seja em virtude da crescente produção de finos em muitas das jazidas de hematita do País, seja, e principalmente, pela grande melhoria que vem sendo constatada na operação dos altos-fornos, tanto no que se refere ao aumento de produção como à economia de redutor.

Julgaram por isso os autores que seria de interesse a realização deste estudo, que esperam seja o primeiro de uma série, na qual se procurará, e de acordo com o método proposto, coligir dados sistemáticos sobre minérios de ferro nacionais no que interessa ao seu comportamento na sinterização e à influência de numerosas variáveis da carga sobre a intensidade de sinterização dos sinters produzidos.

Os autores tencionam, em trabalho subsequente, estudar a redutibilidade dos sinters produzidos no decurso desta pesquisa, através de ensaio comparativo análogo ao utilizado para sinters

de garnierita e já empregado, de forma parcial, na produção de ferro-esponja⁵.

Nesta contribuição, descrevem os autores o aparelhamento e os métodos experimentais adotados e estudam experimentalmente a influência da umidade, da proporção de moinha de carvão vegetal e da proporção de pré-sinter sobre as curvas características da operação, sobre o rendimento e sobre a intensidade de sinterização.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

2.1 — *Minério de ferro* — O minério de ferro empregado era constituído por finos resultantes de peneiramento, na própria jazida, de hematita friável. Proveio de uma das jazidas da Serra do Curral, arredores de Belo Horizonte, MG. A tabela 1 reproduz os resultados de análise química de uma amostra média da partida recebida, de cerca de 3 t:

TABELA 1

Composição dos finos de hematita friável

Constituintes	%
Umidade	0,83
SiO ₂	0,96
Al ₂ O ₃	5,86
FeO	2,17
Mn	0,03
S	0,02
P	0,047
Fe total	62,1

2.2 — *Moinha de carvão vegetal* — A moinha de carvão vegetal era procedente da Usina Experimental de Apiaí (do Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e foi obtida por separação em peneira de 8 mm de abertura dos finos não utilizados no forno de cuba de redução de sinters de chumbo. A moinha foi seca sobre chapas de aço e uma amostra média tem a composição reproduzida na tabela 2:

TABELA 2

Composição da moinha de carvão vegetal

Constituintes	%
Umidade	6,80
Matérias voláteis	19,0
Carbono fixo	71,4
Cinza	2,8

Essa composição é típica do carvão vegetal empregado em Apiaí e produzido em fornos de alvenaria. Convém notar o baixo conteúdo de cinza, que indica não ser contaminada com terra. A figura 1 reproduz os resultados das análises granulométricas do minério e da moinha. Convém salientar que se trata de análises de amostras correspondentes aos materiais tal como recebidos, sem qualquer outra operação de modificação da sua granulometria.

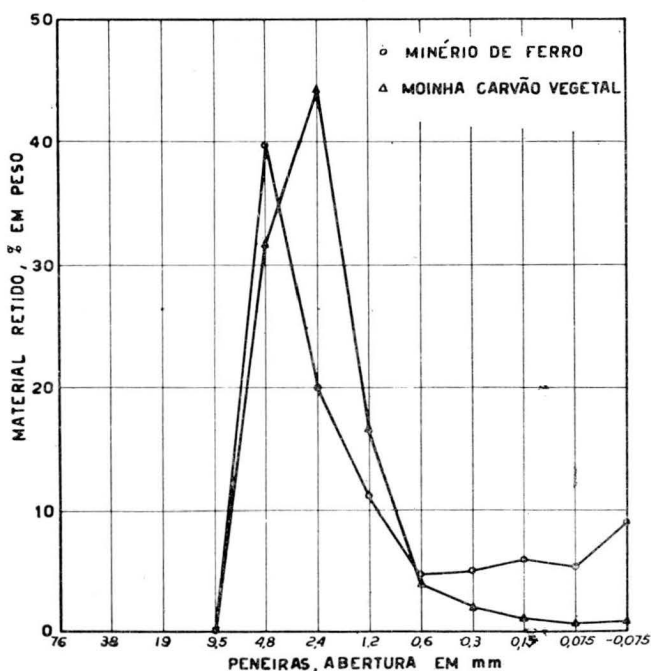


Fig. 1 — Resultados de análises granulométricas de finos de minério de ferro e de moinha de carvão vegetal.

3. DESCRIÇÃO DO APARELHAMENTO UTILIZADO

3.1 — *Forno de sinterização* — O forno de sinterização utilizado foi construído por um dos autores no IPT em 1943 e tem sido desde então utilizado em numerosos estudos experimentais^{6, 7, 8}. Consta essencialmente de câmara prismática de 300×300 mm e 400 mm de altura total, resfriada lateralmente por ar, assente sôbre caixa de vento (e de retenção de finos), da qual parte canalização que liga aos exaustores. A grelha, de ferro fundido e dotada de orifícios de 8 mm de diâmetro, pode ser ajustada de forma a determinar a altura de carga conveniente para cada caso. Nos ensaios adiante relatados, a altura da carga foi mantida constante em 300 mm. Sôbre a grelha carregou-se sempre uma camada de 2.000 g de sinter classificado entre 25 e 10 mm, com o fito de servir de suporte à carga e evitar que parte da mesma pudesse fluir para a caixa de vento.

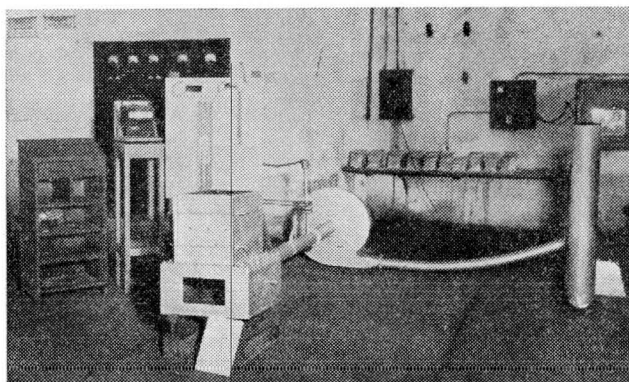


Fig. 2 — Aspecto do forno de sinterização construído no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, vendo-se os dois exaustores e os aparelhos de medida de vazão, de depressão dinâmica e de temperatura dos gases.

A figura 2 mostra o aspecto da unidade utilizada, vendo-se os dois exaustores montados em série, o manômetro de mercúrio para a medida da depressão dinâmica (tomada no conduto que liga a caixa de vento ao primeiro exaustor), o manômetro diferencial do tubo Pitot para a medida da vazão de gases, e o par termo-elétrico, nú no interior da tubulação, para a medida da temperatura dos gases. Um ábaco construído por um dos

autores permitiu transformar rapidamente os resultados das leituras em vazões de gases.

A razão de se ter instalado dois exaustores em série foi a de o exaustor anteriormente empregado ter reduzida capacidade, apenas 8 m³/min a 20°C. Os dois exaustores em série asseguraram a vazão de 28 m³/min com o forno vazio, mas com a grelha revestida pela camada suporte já mencionada. Sendo de 9 dm² a área útil da câmara de sinterização, a vazão específica de ar aspirado no forno vazio é de 3,110 m³/dm², equivalente a 311 m³/min/m² de área da secção transversal horizontal da câmara. Essa vazão é maior do que a habitualmente empregada nos fornos intermitentes de sinterização (geralmente compreendida entre 50 e 110 m³/min/m²). Ver-se-á mais adiante que essa elevada vazão específica assegura grande velocidade de sinterização e assim elevada capacidade horária.

3.2 — *Máquina Deval* — A máquina de ensaios Deval empregada é a correntemente utilizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas para ensaios de resistência à abrasão de agregados para concreto e para qualificação de pedra de lastro. Indicarão mais adiante os autores as modificações feitas por eles nas condições de ensaios para exprimir, em função dos resultados desse ensaio, o “índice de intensidade de sinterização”.

Maiores detalhes referentes a essa máquina constarão de uma publicação a ser feita dentro em breve pelo IPT sobre propriedades tecnológicas de rochas.

4. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

4.1 — *Determinação do volume específico aparente* — A determinação do volume específico aparente das cargas a serem sinterizadas é de interesse fundamental, uma vez que seu conhecimento não só permite determinar a massa total a ser utilizada em cada experiência, como e principalmente, pelo estudo da curva de variação do volume específico aparente em função da umidade pode-se determinar qual a umidade ótima, à qual corresponde maior permeabilidade e maior rendimento da sinterização⁸.

As cargas, previamente pesadas, constituídas de minério de ferro e de moinha, ou de minério de ferro com pré-sinter e moinha, eram preparadas em pequena betoneira basculante. Durante 3 minutos era feita mistura a seco, depois e durante mais 3 minutos era feita lentamente a adição da água e, por fim, a carga úmida era homogeneizada durante mais 4 minutos. Dessa

forma obtiveram-se valores bastante reprodutíveis de volume específico em função da água adicionada.

Preparada assim cada carga, era em seguida transportada para um aparelho distribuidor da mistura, que era recebida em recipiente de 4,125 dm³ de volume útil, e feita em seguida a pesagem do material contido, tendo-se antes o cuidado de nivelar a carga no recipiente com régua metálica passada rasante à superfície do bordo superior desse recipiente. O mesmo material voltava à betoneira para nova adição de água.

4.2 — *Ensaios de sinterização* — Os ensaios de sinterização foram realizados a partir de cargas calculadas com base no volume específico determinado, preparadas da forma descrita no parágrafo anterior. Com êsses cuidados se evitaram as flutuações de resultados que provém de variações da carga. Descrevem-se a seguir a seqüência das operações nos ensaios de sinterização:

4.2.1 — *Carregamento do forno* — Limpo o forno da operação anterior, e feita a carga da camada de revestimento de grêlha como anteriormente indicado, era a carga distribuída uniformemente em camadas até atingir o nível de trabalho da câmara. No carregamento tomou-se sempre o cuidado de adensar ligeiramente o material junto aos bordos para evitar que essas regiões tivessem sinterização mais rápida que a do restante da carga. Concluído o carregamento e nivelado a superfície exposta, era distribuída sôbre a carga uma camada de 700 g de moinha de carvão vegetal, da mesma partida utilizada em todos os ensaios, com o objetivo de facilitar a ignição. Essa camada permitia suprir a falta de um meio mais eficaz de ignição, que deveria ser um maçarico cuja chama pudesse cobrir, de uma vez, uma faixa da câmara de sinterização.

4.2.2. — *Ensaio de sinterização* — A ignição era feita por meio de quatro tochas de estopa embebidas em óleo diesel, cuja chama acendia a camada de carvão vegetal mencionada. A ignição pelas tochas foi feita durante o tempo constante de 1 minuto, suficiente para acender uniformemente tôda a camada de carvão. Logo após ligados os exaustores, era iniciada a operação com as leituras dos manômetros e do pirômetro e, em seguida, acêsa a carga por meio das tochas, durante 1 minuto. As leituras seguintes eram feitas com intervalo de 2 minutos. Foram assim cuidadosamente anotados os resultados de: a) temperatura dos gases; b) pressão dinâmica negativa do manômetro de mercúrio; e c) pressão diferencial do manômetro de água do tubo Pitot de medida de descarga. As leituras foram continuadas, com o intervalo de 2 minutos, até que a temperatura dos gases caísse a 60°C. Muito embora o fim da sinterização ocorresse provavelmente dentro de 6 ou 8 minutos antes de atingida essa temperatura, preferiu-se considerar como indi-

cativo do “tempo de sinterização” o tempo no qual fosse atingida essa temperatura. Dessa forma não só se dispõe de um critério para medir a duração da operação como também o sinter produzido podia ser retirado bastante frio, o que facilitava sua amostragem posterior.

4.2.3 — *Descarga do forno* — Logo que atingida a temperatura de 60°, eram os exaustores desligados, aberta em seguida a porta de frente do forno, descarregado o bloco de sinter sobre uma peneira de 10 mm de abertura colocada dentro de caixa metálica e retirados todos os finos da caixa de vento. Em seguida o bloco de sinter era fragmentado com ponteiro de aço, tomando-se a precaução de não fragmentá-lo excessivamente, e feito o peneiramento na peneira de 10 mm. Eram em seguida feitas as pesagens do material retido e do que passava na referida peneira. Chamou-se “rendimento de sinterização” o valor da relação, expressa em porcentagem, do peso da fração + 10 mm para o peso total.

Em cada uma das experiências feitas, foram coligidos de forma sistemática todos os dados obtidos, tanto os referentes às condições da carga, como os relativos ao andamento da sinterização, como, e finalmente, os de rendimento de sinterização.

4.3 — *Determinação de intensidade de sinterização.*

4.3.1 — *Método adotado* — Conforme proposto nos trabalhos anteriores^{1,3}, a intensidade de sinterização é expressa por um índice *I* calculado por

$$I = 100 - 2(p - 5)$$

onde *p* é a porcentagem de finos produzidos na peneira de 4 mesh (Tyler) (4,699 mm de abertura) sobre a carga inicial, em ensaio realizado na máquina Deval nas seguintes condições:

Carga, por tambor, g	2500 ± 100
Número total de revoluções	40
Pêso de cada fragmento, g	50 a 75
Velocidade de rotação, r/min	35
Número total de revoluções	1000
Duração do ensaio, min	29
Abertura da peneira para determinação da porcentagem finos, mm	4,699

4.3.2 — *Preparo das amostras* — Tendo sido realizados no mínimo 3 ensaios de sinterização para cada uma das condições de carga, conforme adiante indicado, foram os fragmentos de sinter conservados com as indicações apropriadas até a ocasião da realização dos ensaios de intensidade de sinterização. As amostras foram preparadas selecionando-se primeiramente os fragmentos, de forma a seu pêso se situar entre 50 e 75 g. Com tais fragmentos foram posteriormente formadas as cargas para os ensaios, nas condições expostas acima, pesando-se previamente cada carga, formada por 40 fragmentos.

4.3.3 — *Ensaio de intensidade de sinterização* — Os ensaios foram efetuados na máquina Deval, da Secção de Ensaios de Concreto, observadas as condições acima indicadas. Para cada amostra de sinter foram realizados dois ensaios. Decorrido o tempo pré-fixado, eram os tambores descarregados sobre peneira de 4,699 mm, feito o peneiramento, pesadas as frações. Com os valores de p assim obtidos, foram calculados os valores de I .

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 — *Volume específico aparente das misturas* — Inicialmente foram determinados os valores do volume específico aparente das misturas de minério com proporções crescentes de moinha de carvão vegetal (de 4% a 14%) e com massas crescentes, para cada mistura, de água adicionada (até 12%). Convém notar que a proporção de moinha, expressa em porcentagem, se refere ao pêso de minério, e que a água adicionada, também expressa em porcentagem, se refere à mistura de minério e moinha de carvão.

Posteriormente, e quando já dispunham os autores de volume suficiente de finos de sinter (pré-sinter, material classificado a — 10 mm) das experiências anteriores, passaram a estudar o volume específico das cargas constituídas de 80% de minério e de 20% de pré-sinter, com proporções de moinha de carvão vegetal de 4% a 12% e com água adicionada até 14%. Nessas determinações também a proporção de moinha se refere à mistura minério + pré-sinter e a proporção de água adicionada à mistura minério + pré-sinter + moinha.

Os resultados obtidos em ambas as séries (100-0 e 80-20) correspondem à média de pelo menos duas determinações e estão representados nas figuras 3 e 4.

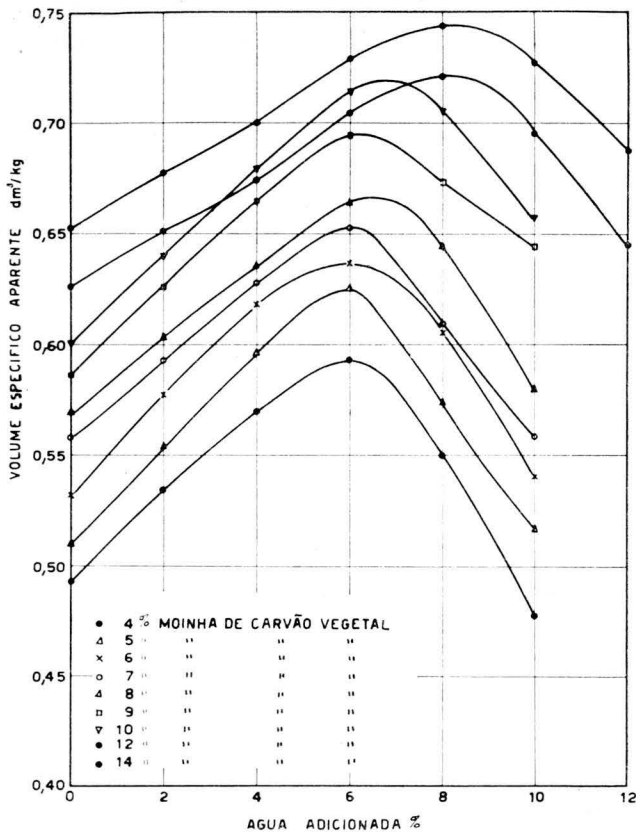


Fig. 3 — Variação do volume específico aparente das cargas constituídas por minério com proporções de moinha de carvão vegetal entre 4% e 14%, em função da água adicionada.

Como parte do lote de minério estivesse exposto ao tempo e como houvesse necessidade óbvia de sua secagem prévia para se estudar a influência da água adicionada sobre o volume específico das misturas com moinha, inicialmente se tentou a secagem em chapa aquecida por gases quentes. Cêdo se verificou, contudo, que os resultados de volume específico aparente eram erráticos, o que se atribuiu a possível fragmentação dos grânulos ou a se ter destacado uma parte de ultrafinos aderidos aos grãos maiores pela umidade. Passou-se, por isso, a fazer a secagem ao sol, expondo o minério em camadas delgadas à secagem natural. Com êsse método os resultados obtidos foram

bastante reprodutivos e coerentes, conforme mostram as figuras 3 e 4.

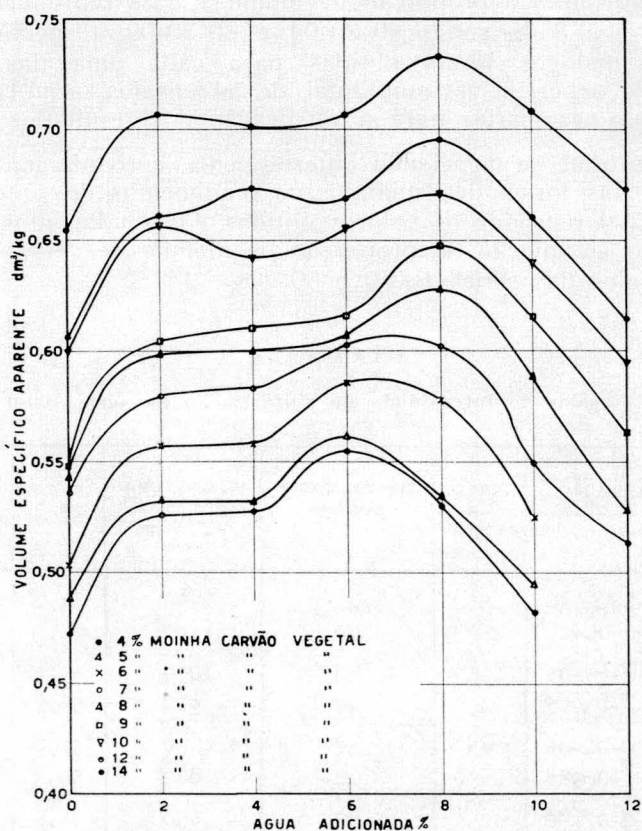


Fig. 4 — Variação do volume específico aparente das cargas constituídas por 80% de minério e 20% de presinter e proporções de moinha de carvão vegetal entre 4% e 14%, em função da água adicionada.

5.2 — *Ensaio de sinterização* — Foram feitos ensaios de sinterização, repetindo-se pelo menos três vezes a operação cada uma das condições de carga, para todas as cargas da série 100-0 (isto é, constituídas por minério de ferro sem pré-sinter) e para as da série 80-20 (isto é, constituídas por 80% de minério e 20% de pré-sinter), variando, em cada uma, a proporção de moinha de carvão vegetal, de 1 em 1%, de 4% até 12% e utilizando a proporção de água para a qual é máximo o valor do volume específico aparente.

As curvas reproduzidas nas figuras 5 e 6 correspondem às séries 100-0-06 e 100-0-08, respectivamente (o último algarismo indicando a proporção de moinha) e as reproduzidas nas figuras 7 e 8 às séries 80-20-04 e 80-20-09, respectivamente. Curvas análogas foram obtidas para cada uma das demais séries de experiências, num total de 54 ensaios, sem contar as repetições necessárias para a verificação dos resultados.

Conforme se mencionou anteriormente, em cada uma dessas experiências foram determinados os rendimentos de sinterização. A figura 9 reproduz os valores obtidos dos rendimentos de sinterização em função da proporção de moinha de carvão vegetal dos ensaios das séries 100-0 e 80-20.

TABELA 3

Ensaio de intensidade de sinterização da série 100-0

designação do sinter	peso da carga g	nº de fragmentos	finos produzidos -4,7 mm g	p %	I
100-0-04-06	2550	40	950	37,2	36,5
100-0-04-06	2500	40	1100	44,0	22,0
100-0-05-06	2550	40	1000	39,2	31,6
100-0-05-06	2450	40	900	36,7	36,6
100-0-06-06	2650	40	850	32,0	46,0
100-0-06-06	2650	40	800	30,0	50,0
100-0-07-06	2450	40	650	26,5	57,0
100-0-07-06	2450	40	700	28,6	52,8
100-0-08-06	2500	40	550	21,8	66,4
100-0-08-06	2400	40	500	20,8	68,4
100-0-09-06	2600	40	550	21,1	67,8
100-0-09-06	2500	40	600	23,0	64,0
100-0-10-06	2600	40	550	21,1	67,8
100-0-10-06	2600	40	650	24,9	60,2
100-0-12-08	2600	40	450	17,3	75,4
100-0-12-08	2450	40	450	18,3	73,4
100-0-14-08	2500	40	400	16,0	78,0
100-0-14-08	2450	40	400	16,3	77,4

5.3 — *Intensidade de sinterização* — A tabela 3 reúne os dados e os resultados dos ensaios para a determinação do “índice de intensidade de sinterização” da série 100-0 (100-0-04-06 a 100-0-14-08) (o último algarismo indicando a água adicionada em %, sempre correspondente ao máximo volume específico). De forma análoga, a tabela 4 reúne os dados referentes aos ensaios dos sinters produzidos na série 80-20 (80-20-04-06 a 80-20-14-08).

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 — *Volumes específicos aparentes das cargas* — Os resultados obtidos (figs. 3 e 4) mostraram que, para cada pro-

TABELA 4

Ensaio de intensidade de sinterização da série 80-20

designação do sinter	peso da carga g	nº de fragmentos	finos produzidos (-4,7 mm) g	p %	I
80-20-04-06	2550	40	1100	43,1	23,8
80-20-04-06	1250	20	500	40,0	30,0
80-20-05-06	2450	40	900	36,7	36,6
80-20-05-06	2600	40	900	32,6	44,8
80-20-06-07	2600	40	750	28,8	52,4
80-20-06-07	2600	40	700	26,9	56,2
80-20-07-07	2650	40	700	26,4	57,2
80-20-07-07	2550	40	700	27,4	55,8
80-20-08-08	2550	40	500	19,6	70,8
80-20-08-08	2500	40	700	28,0	54,0
80-20-09-08	2550	40	500	19,6	70,8
80-20-09-08	2600	40	500	19,2	71,6
80-20-10-08	2500	40	500	20,0	70,0
80-20-10-08	2550	40	500	19,6	70,8
80-20-12-08	2600	40	400	15,4	79,2
80-20-12-08	2550	40	450	17,6	74,8
80-20-14-08	2550	40	400	15,7	78,6
80-20-14-08	2450	40	400	16,3	77,4

porção de moinha de carvão vegetal, o volume específico aparente aumenta com a água adicionada até um determinado valor, para diminuir depois, e que, quanto maior a proporção de moinha, maior o valor da umidade a que corresponde o máximo da curva de variação do volume específico aparente em função da água adicionada.

Comparando-se os valores da figura 3 com os da figura 4, conclui-se que a adição de finos de sinter à carga de minério (para a proporção de 20% pré-sinter, na figura 4) determina um aumento do volume específico, o que é de se esperar, uma vez que os finos de sinter têm maior diâmetro médio do que o minério.

6.2 — Ensaios de sinterização.

6.2.1 — *Série 100-0* — Os tempos de sinterização para os ensaios dessa série variaram entre 20 e 24 minutos para as cargas com 4% e 14% de moinha de carvão vegetal (a umidade correspondendo sempre àquela para a qual é máximo o volume específico aparente).

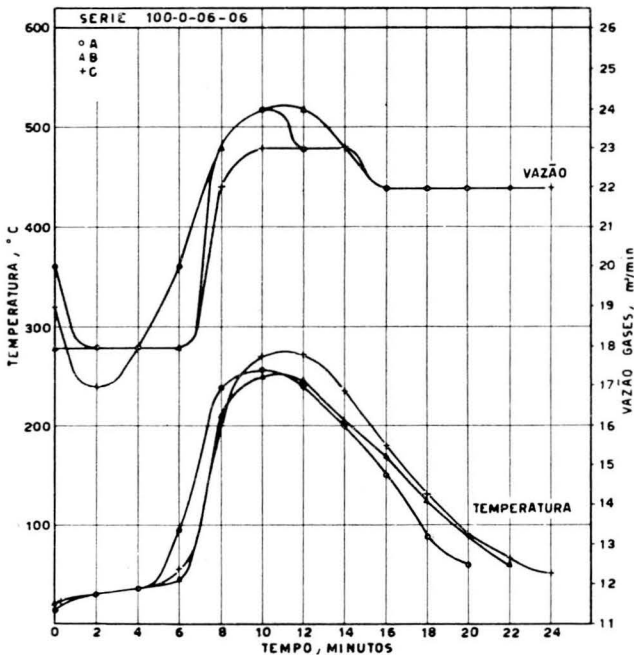


Fig. 5 — Curvas de variação de temperatura e de vazão dos gases em função do tempo, nos ensaios de sinterização da série 100-0-06-06.

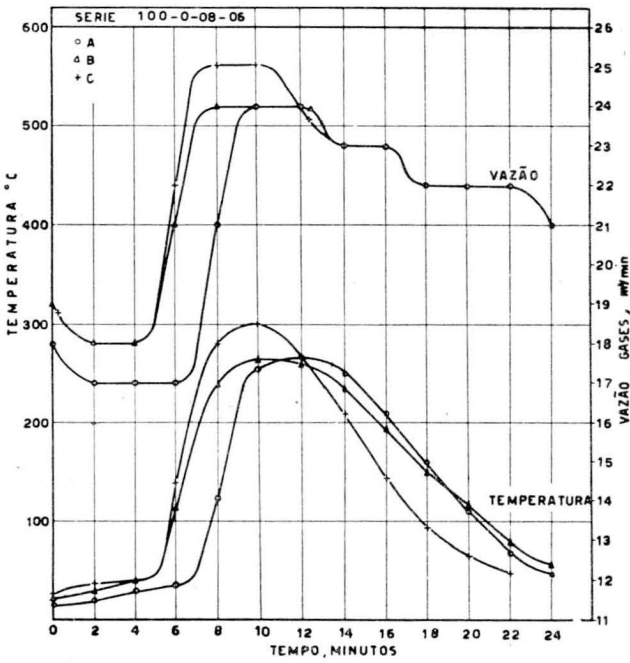


Fig. 6 — Curvas de variação de temperatura e de vazão dos gases em função do tempo, nos ensaios de sinterização da série 100-0-08-06.

Mostram as figuras 5 e 6 (referentes, respectivamente, às cargas 100-0-06-06 e 100-0-08-06, escolhidas como exemplos) que a vazão efetiva dos gases cai logo após a ignição (feita entre 0 e 2 minutos) mantendo-se constante até cerca de 8 minutos, para aumentar depois e cair no fim do ciclo. O aumento de vazão corresponde à diminuição da resistência oferecida pela carga à passagem do ar, em virtude de a zona de sinterização se aproximar da grêlha. No período final a vazão diminui pelo efeito de obstrução parcial da grêlha. Essa queda final de vazão é tanto mais pronunciada quanto maior tiver sido a proporção de moilha empregada, e portanto, quanto mais elevada houver sido a temperatura atingida pela grêlha no fim do processo.

As curvas mostram ainda que a temperatura dos gases, medida na canalização que liga a caixa de vento ao primeiro exaustor, aumenta rapidamente entre o 6.º e o 8.º minuto de operação para atingir 245°C a 300°C, durante um espaço de tempo em geral inferior a 2 minutos. Atingido êsse máximo,

resultante de ter a zona de sinterização se aproximado da grelha, baixa a temperatura, mais lentamente no início, para atingir o valor de 60°C — tomado como indicativo do fim do ciclo de sinterização — dentro de 22 ou de 24 minutos a contar do início do ensaio.

Tanto as curvas de vazão efetiva como as de variação de temperatura dos gases mostram flutuações muito pequenas, em geral inferiores a 3% do valor médio, de ensaio a ensaio de uma mesma série.

Na figura 9, na qual se representou a variação do rendimento de sinterização com a proporção de moinha de carvão vegetal, constata-se que êsse índice tem valor muito baixo para 4% e 5%, e que aumenta gradativamente até 8%, e daí em diante mais rapidamente. A curva passa por um máximo para 10% de moinha, diminuindo novamente daí por diante. Essa diminuição de rendimento com o aumento da proporção de moinha é atribuída pelos autores ao efeito de fusão progressiva do material sinterizado sôbre a grelha, decorrente da elevada proporção de moinha de carvão vegetal utilizada nessa faixa final.

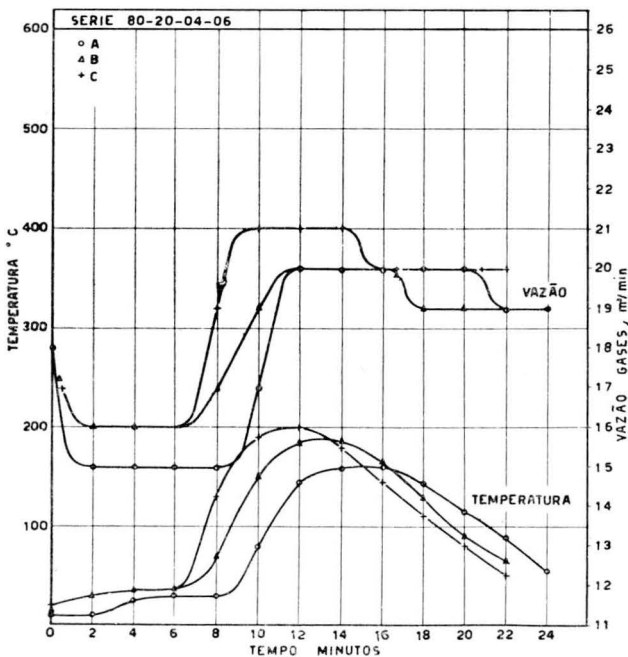


Fig. 7 — Curvas de variação de temperatura e de vazão dos gases em função do tempo, nos ensaios de sinterização da série 80-20-04-06.

6.2.2 — *Série 80-20* — Os tempos de sinterização dos ensaios desta série variaram também entre 20 e 24 minutos para a proporção de moinha na faixa 4% a 14%.

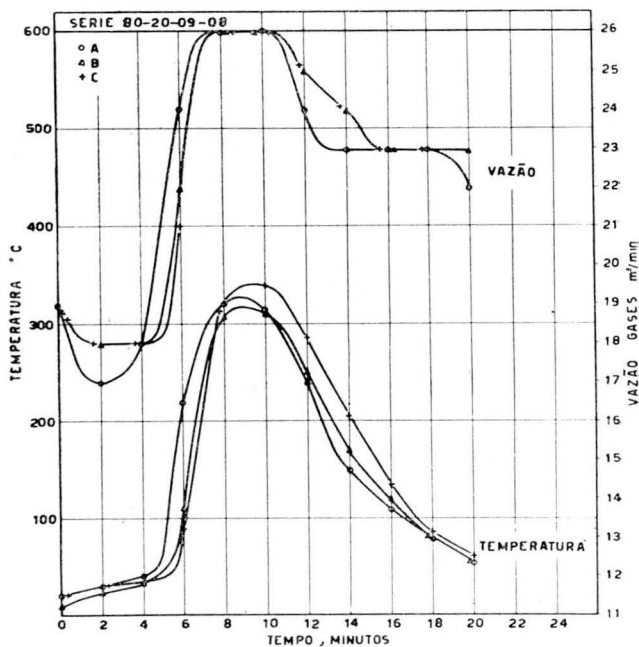


Fig. 8 — Curvas de variação de temperatura e de vazão de gases em função do tempo, nos ensaios de sinterização da série 80-20-09-08.

As figuras 7 e 8, relativas respectivamente aos ensaios das cargas 80-20-04-06 e 80-20-09-08, mostram nitidamente a tendência de concentrar-se a elevação de temperatura com a proporção de moinha: as curvas de temperatura em função do tempo são bastante mais abruptas nestas do que naquelas. Mostram ainda que o tempo para o qual a temperatura passa pelo máximo no ciclo é tanto menor quanto maior a proporção de moinha: para 4% é de 12 minutos (atingindo 160°C a 200°C) e para 9% é de 8 minutos (atingindo agora 305°C a 340°C).

Ainda na figura 9, representativa dos valores de rendimento de sinterização com a proporção de moinha, verifica-se que aumenta o rendimento rapidamente com a proporção de moinha além da faixa de 4% a 6%, para atingir o rendimento máximo

de 84% (valor médio) para a proporção de 9% de moinha; diminui depois o rendimento, para cair a 70% para 14% de moinha. A mesma lei de variação fôra constatada na série 100-0.

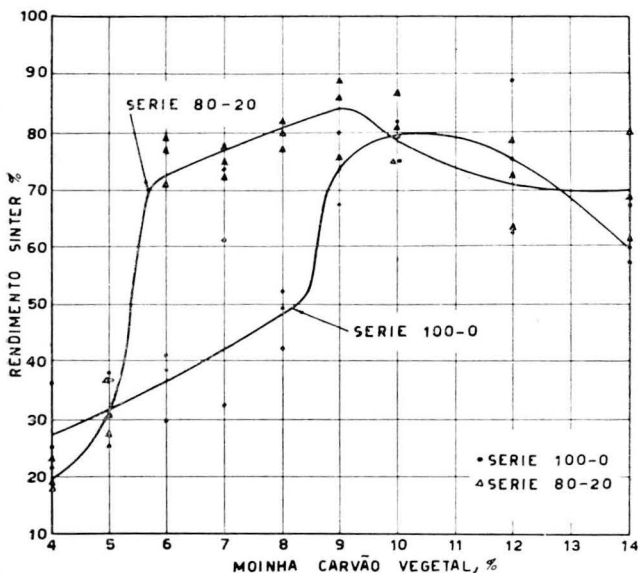


Fig. 9 — Curvas de variação de rendimento de sinterização em função da proporção de moinha de carvão vegetal, dos ensaios das séries 100-0 e 80-20.

Comparando-se os valores da série 80-20 com os da série 100-0, resulta patente a influência do pré-sinter sobre o rendimento: o rendimento máximo sobe de 5% (de 79% a 84%), verificando-se contudo para menor proporção de moinha (9% em lugar de 10%) quando se emprega 80% de minério com 20% de pré-sinter em lugar de minério exclusivamente.

Cumprе observar ainda que o rendimento de 84% de sinterização obtido para 9% de moinha é bastante satisfatório. Além disso, permitiria que, mesmo em instalações intermitentes, se pudesse operar de forma a ter condições constantes de carga, com um máximo de produtividade, conforme mostrou um dos autores ao estudar a capacidade de produção de sinter em instalações dotadas de fornos intermitentes⁹.

6.3 — *Intensidade de sinterização* — Os valores de I das tabelas 3 e 4 foram representados na figura 10 e traçadas as

curvas correspondentes às tendências desses valores em função da proporção de moinha de carvão vegetal.

Em cada uma das séries (100-0 e 80-20) aumenta a intensidade de sinterização com o aumento da proporção de moinha, mais rapidamente no início para depois tender a curva a apresentar bem menor coeficiente angular para proporções mais elevadas. O sinter é assim tanto mais resistente, avaliada a resistência pelo "índice de intensidade de sinterização" quanto maior tiver sido a proporção de moinha de carvão vegetal utilizada.

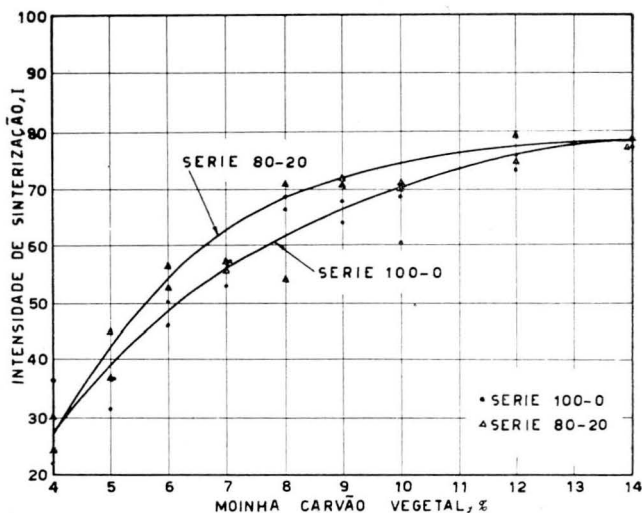


Fig. 10 — Curvas de variação da intensidade de sinterização em função da proporção de moinha de carvão vegetal, dos sinters das séries 100-0 e 80-20.

A adição de pré-sinter ao minério (série 80-20 em comparação com a série 100-0) aumenta a intensidade de sinterização para a mesma proporção de moinha, até 12% de moinha. A diferença é mais acentuada na faixa de 6% a 10% de moinha: para 9% de moinha, o índice sobe de 66 para o sinter produzido só com minério para 72 para o sinter produzido com 80% de minério e 20% de pré-sinter.

Os autores estudaram também a influência do tempo de ensaio (fixado como se viu em 29 minutos) e da massa total de fragmentos de sinter sobre o valor de p da fórmula da pag. 996, utilizando as peneiras de 4,7 e 10 mm. Para isso e

tendo tomado amostras de sinter da carga 100-0-12-08 realizaram ensaios na máquina Deval em tempos crescentes de 5 em 5 minutos até 29 minutos. Nesses ensaios, um dos tambores tinha a carga de 5.000 g e o outro a de 2.500 g. Os produtos obtidos (separados em +10 e -10 e depois em +4,7 e -4,7 mm) em um ensaio voltavam depois aos mesmos tambores, tomando-se precaução de carregá-los de forma a evitar sua fragmentação durante o carregamento. Os resultados obtidos nesses ensaios foram representados na figura 11. As curvas

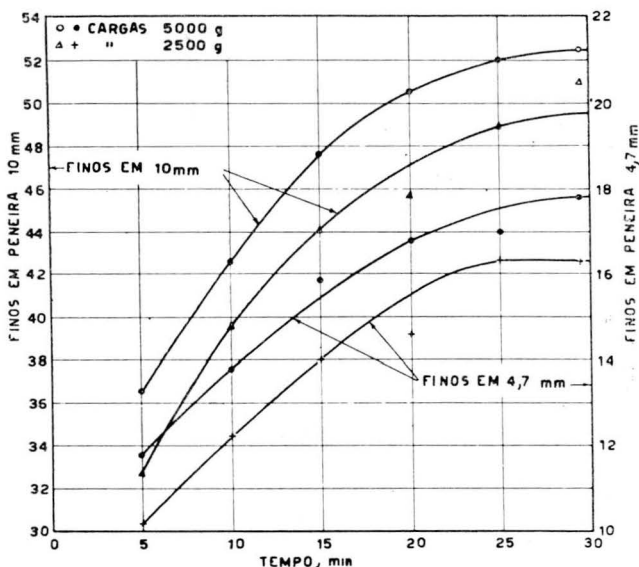


Fig. 11 — Influência do tempo de ensaio e da massa de material ensalado sobre a proporção de finos (p) nas peneiras de 4,7 e 10 mm.

mostram um rápido aumento do valor de p no trecho até 20 minutos, e daí por diante, uma diminuição do coeficiente angular. Muito embora não se tenha atingido um trecho assintótico, a se esperar para maiores tempos de ensaios, acredita-se que, dado o pequeno coeficiente angular da curva para os ensaios de separação em 4,7 mm e no tempo de 29 minutos, os valores de p obtidos já sejam bastante representativos da resistência do sinter à fragmentação.

Como é de se esperar, os valores de p para 10 mm são bastante maiores que para 4,7 mm; além disso, os ensaios de

carga de 5.000 g fornecem valores de p maiores que os de 2.500 g. As curvas são contudo paralelas.

Os resultados experimentais evidenciam que as condições propostas para a realização do ensaio de intensidade de sinterização são perfeitamente aceitáveis e que os valores obtidos para 1000 rotações (isto é, para o tempo de 29 minutos) já se situam num trecho da curva no qual a variação de p com o tempo é bastante pequena.

7. CONCLUSÕES

1. Estudaram os autores experimentalmente a influência das variáveis da carga (proporção de pre-sinter, de moinha de carvão vegetal e de umidade) sobre o rendimento de sinterização, sobre as curvas temperatura e vazão de gases em função do tempo e a sobre a intensidade de sinterização de sinters de finos de hematita friável com moinha de carvão vegetal.

2. As curvas de variação do volume específico aparente das cargas constituídas por hematita e 80% de hematita com 20% de pre-sinter com proporções crescentes de moinha, de 4% a 14%, em função da água adicionada, mostraram: a) que o volume específico para cada carga passa por um máximo para um determinado valor da umidade; b) que esses máximos são tanto maiores quanto maior a proporção de moinha, e c) que ocorrem para proporções de água tanto maiores quanto maior a proporção de moinha (figs. 3 e 4).

3. Os ensaios de sinterização das cargas foram realizados em forno experimental de sinterização construído no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (fig. 2) em câmara de $300 \times 300 \times 400$ mm sob vazões de gases entre 16 e 20 m^3/min a 20°C . Todas as cargas ensaiadas, tanto as da série 100-0 como as da série 80-20, continham umidade correspondente ao máximo volume específico para cada proporção de moinha empregada (4% a 14%).

4. Os tempos de sinterização variaram de 20 a 24 minutos na faixa de composição das cargas e constatou-se sempre um pico de temperatura, cuja localização depende da carga, situado pouco antes da metade do tempo total de sinterização (figs. 5, 6, 7 e 8). O tempo de sinterização tomado como o tempo, a partir do início do processo e antes da ignição da carga, para o qual a temperatura dos gases, no abaixamento que se segue a esse máximo, atinge 60°C .

5. O rendimento de sinterização aumenta rapidamente com a proporção de moinha na série 80-20 e mais lentamente na série 100-0, atingindo o valor de 84% para 9% de moinha para a série 80-20 e 79% para 10% de moinha para a série 100-0. Os rendimentos caem nos ensaios efetuados com elevadas proporções de moinha de carvão vegetal, indicando assim a inconveniência de se empregar proporções de moinha em excesso àquela para a qual se constata aquele máximo (fig. 9).

6. A intensidade de sinterização, avaliada pela expressão proposta (pág. 996) e baseada no valor de p obtido em ensaio realizado na máquina Deval nas condições fixadas na pág. 997, aumenta com a pro-

porção de moinha de carvão vegetal e com a proporção de pre-sinter. Comparados os valores obtidos nos sinters de minério com os de mistura de 80% de minério com 20% pre-sinter, verifica-se apresentarem estes maior intensidade de sinterização que aqueles, principalmente na faixa entre 6% e 10% de moinha (fig. 10).

7. As condições adotadas para o ensaio de intensidade de sinterização foram estudados experimentalmente, varianlo-se a carga e o tempo de ensaio. Os resultados obtidos (fig. 11) indicaram que as condições adotadas neste trabalho (pág. 997) poderão ser mantidas em estudos ulteriores para a comparação de sinters.

BIBLIOGRAFIA

1. SOUZA SANTOS, T. D. e BRESCIANI, S. — *Intensidade de sinterização e redutibilidade de sinters de garnierita*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 17, n.º 62, págs. 133-144, 1961.
2. SOUZA SANTOS, T. D. e BRESCIANI, S. — *Sinterização de minério de níquel e obtenção de ferro-níquel de elevados teores de níquel*. Relatório de Pesquisa n.º 32, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 30 de setembro de 1960.
3. SOUZA SANTOS, T. D. — *Tumbling Resistance and Reducibility Tests for Evaluating Nickel Silicate Ore Sinters*. Paper n.º 6, First International Symposium on Agglomeration, Philadelphia, 12 a 14 de abril de 1960 (a ser publicado).
4. WARNES, D. E. — *Properties of Sinter Smelted in the Electrothermic Zinc Furnace*. Paper n.º 7, id.
5. SOUZA SANTOS, T. D. — *Obtenção de ferro-esponja de hematita compacta e sua fusão em forno Detroit de laboratório*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 16, n.º 59, págs. 233-242, 1960.
6. SOUZA SANTOS, T. D. — *A influência de algumas variáveis sobre a sinterização de minérios de ferro*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 5, n.º 14, págs. 57-67, 1949.
7. SOUZA SANTOS, T. D. e BROSCHE, C. D. — *Ustulação de concentrados de scheelita com enxofre empregando serragem como combustível*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 6, n.º 20, págs. 232-240, 1950.
8. SOUZA SANTOS, T. D. e BRESCIANI, S. — *Estudo experimental de sinterização de garnierita*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 17, n.º 62, págs. 103-116, 1961.
9. SOUZA SANTOS, T. D. — *Capacidade de produção de sinter em instalações dotadas de fornos intermitentes*. ABM-Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 14, n.º 50, pág. 41-52, 1958.

DISCUSSÃO ⁽¹⁾

T. D. de Souza Santos ⁽²⁾ — O trabalho que acaba de ser relatado pelo Químico Juan Figueroa Vera, presentemente em estágio no IPT de São Paulo, visou o estudo de variáveis da sinterização de finos de hematita friável com moinha de carvão vegetal, em forno experimental. A despeito do largo emprêgo de sinters nas usinas siderúrgicas, muito pouco se conhece sobre fatores de interesse no funcionamento dos altos fornos, principalmente quanto à medida da intensidade de sinterização, isto é, ao maior ou menor desenvolvimento das reações químicas e físicas entre os grânulos dos constituintes do sinter.

Costuma-se classificar o sinter de um ponto de vista empírico e qualitativo; assim, na prática das usinas, distinguem-se um **sinter forte** de um **sinter fraco**, submetendo-o a certas provas, as quais, contudo não permitem medir a intensidade de sinterização.

De outro lado, o fator de redutibilidade é relativamente pouco estudado. Temos visto, em nossas visitas a numerosas usinas de sinterização, de chumbo, zinco, de cobre, de níquel e também de ferro, que há tendência generalizada de parte dos produtores de sinter, de produzir-lo excessivamente duro e resistente.

Creio que muitos dos senhores recordam-se de ter lido dois trabalhos que apresentámos no Congresso passado da ABM, em que estudámos a questão de intensidade de sinterização de sinters de garnierita. Pudemos, em primeiro lugar, propor um processo para a medida de intensidade de sinterização, a ela adaptando um ensaio da máquina Deval. Temos assim uma medida quantitativa, bastante reprodutiva nos seus valores, quanto à intensidade de sinterização. Pudemos mais, no caso de sinter de garnierita, estabelecer definitivamente uma correlação entre a intensidade e a redutibilidade desses sinters.

Na presente contribuição, visamos especificamente, em casos de finos de hematita procedentes de uma das jazidas da Serra do Curral, estudar a influência da variação do volume específico com a proporção de moinha e com a água adicionada; o traçado das curvas de temperatura dos gases e vazão em função do tempo e determinação do rendimento de sinterização, e a intensidade de sinterização em função da proporção de moinha. Está aberta a discussão.

R. Z. Machado ⁽³⁾ — Eu gostaria de saber qual é a composição granulométrica do fino de hematita utilizado.

Juan Figueroa ⁽⁴⁾ — O gráfico da figura 1 do trabalho reproduz os resultados das análises granulométricas da moinha e do minério. Este é todo de (—) 9,5 mm. Tem 40% retidos em 4,8 mm; 20% retidos em 2,4 mm; 12% retidos em 1,2 mm e o restante nas peneiras seguintes. Trata-se de um material bastante fino.

(1) Contribuição Técnica n.º 432. Discutida na Comissão «A» do XVI Congresso Anual da ABM; Pôrto Alegre, julho de 1961. Publicada neste mesmo «AMB-Boletim».

(2) Membro da ABM, co-autor do trabalho e na Presidência da Mesa. Professor Catedrático da EPUSP e Engenheiro Chefe do IPT; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Cia. Aços Especiais Itabira; Acesita, MG.

(4) Membro da ABM e co-autor do trabalho. Professor na Escola de Engenharia da Universidade do Chile e Engenheiro do IDIEM; Santiago, Chile.

Amaro Guatemozin (5) — Queria perguntar por que foi escolhida a série 80-20, e não outra? O autor poderia esclarecer a escolha feita?

T. D. de Souza Santos — É nosso objetivo prosseguir ulteriormente os trabalhos, inclusive complementando-os pelos ensaios de redutibilidade, conforme método proposto anteriormente, estudando também a influência da variação da percentagem de recirculação do sinter, de 70% até 9%. Entretanto, com a experiência que temos obtido em ensaios de sinterização, tem sido demonstrado que provavelmente as melhores condições de sinterização se situam em torno de 80%. Deve ter observado o Dr. Guatemozin que o rendimento de sinterização corresponde efetivamente, na figura 9, a valores próximos a 80%. Essa proporção é razoavelmente baixa e acabamos de tomar conhecimento que a recirculação em Monlevade atinge a 34%.

Amaro Guatemozin — Considerando a variação de intensidade de sinterização em função da proporção de moinha de carvão vegetal (figura 10 do trabalho) com a série 80-20, os senhores chegam a uma intensidade de 78% aproximadamente, e para a série 100-0, os senhores chegam ao mesmo resultado, dependendo unicamente da proporção de moinha. Eu perguntaria aos autores que estudaram o ponto de vista econômico, se seria mais interessante fazer uma maior recirculação dos pré-sinter, baixando propositalmente o rendimento de intensidade de sinterização, ou seria mais interessante aumentar a percentagem de carvão vegetal, obtendo a mesma intensidade a um preço, evidentemente, com maior percentagem mínima?

T. D. de Souza Santos — O problema importante é o de se determinar, ou por ensaio de redutibilidade, como temos feito, ou pelo levantamento dos dados de comportamento do sinter no alto forno, que seria evidentemente muito melhor, o efeito da proporção de moinha na carga sobre o índice de redutibilidade, ou o índice equivalente de funcionamento no alto forno. Nós temos provado, no caso de sinter de garnierita, que o aumento da proporção de moinha na produção do sinter faz diminuir o índice de redutibilidade do sinter. Trata-se, então, de determinar qual é a intensidade de sinterização compatível com uma boa redutibilidade. Do ponto de vista de intensidade de sinterização, quanto maior a proporção de moinha, mais resistente o sinter, mas êle ser á menos redutível. Deve ser conseguido assim um compromisso, de se ter a intensidade de sinterização suficiente para que êle não se fragmente demais nas operações de recirculação, sem que entretanto influencie desfavoravelmente a redutibilidade.

A intensidade do sinter depende das manipulações a que estiver sujeito na usina, uma vez que um sinter altamente resistente também é um sinter muito pouco redutível. Em contrapartida, se quisermos um sinter de alta redutibilidade, isso significa um sinter fraco e frouxo, que se fragmentara excessivamente.

É assim um problema de balanceamento dessas condições, as quais só podem ser determinadas experimentalmente, em cada caso particular. Entretanto, ficou comprovado nesse nosso estudo, de que a adição de pré-sinter (no caso de 20% de pré-sinter para 80% de minério) definitivamente aumenta a intensidade de sinterização, quando nós fixamos a mesma proporção de moinha e a mesma umidade. Em outras palavras, o pré-sinter age como reforçador do sinter, e, provavelmente tanto mais quanto maior a proporção.

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

Amaro Guatemozin — Minha pergunta era mais sob o ponto de vista econômico, o de se valeria a pena, obtida a mesma intensidade de sinterização, trabalhar com maior percentagem de moinha ou recirculando a parte de pré-sinter.

T. D. de Souza Santos — Temos a impressão de que é preferível recircular mais pré-sinter e reduzir a proporção de moinha; o aumento de proporção de moinha afeta muito desfavoravelmente a redutibilidade.

S. L'Abbate (6) — Teria sido experimentada a serragem de madeira como aditivo na carga a sinterizar?

T. D. Souza Santos — Usámos muito freqüentemente a serragem em sinters de chumbo, de níquel e de cobre como meio de aumentar o volume específico aparente. A usina de cobre de Itapeva trabalha regularmente empregando 4% a 5% de serragem como meio suplementar de aumentar o volume específico, porque se trata de concentrados 80% menos 200 mesh.

S. L'Abbate — E na fabricação de sinter de minério de ferro seria aconselhável a adição de serragem para aumentar êsse volume específico?

T. D. de Souza Santos — Se se pretender produzir sinter somente de jacutinga, jacutinga friável, com baixa proporção de retôrno, somente a custa de adição de serragem é que se teria sinter de bons característicos.

S. L'Abbate — O que seria mais econômico, a serragem de madeira ou o carvão vegetal?

T. D. de Souza Santos — Depende totalmente de condições particulares de cada usina. Na área de Apiaí é mais econômico se utilizar serragem de serrarias da região, do que utilizar a própria moinha de carvão. Na área de Itapeva, na usina de cobre, é mais interessante utilizar-se palha de arroz, que é um excelente expensor de carga. Depende de condição particular de cada uma.

S. L'Abbate — E no caso de alguém ter que britar o carvão vegetal ou fazer serragem de madeira?

T. D. de Souza Santos — Nós não britamos o carvão vegetal. Ele resulta dos finos de peneiramento da usina de Apiaí; a sua granulometria corresponde próximamente a do próprio minério de ferro.

A questão de ser mais vantajosa uma ou outra solução depende de exame de cada caso em particular.

L. C. Corrêa da Silva (7) — Gostaria de fazer duas observações que talvez ajudem a estabelecer uma correlação entre êste trabalho e o interesse para os produtores de sinter em altos fornos. Ele se refere à intensidade de sinterização. É preciso chamar a atenção de que a medida dessa intensidade utilizada neste trabalho, é feita por método proposto pelo Prof. Souza Santos, baseado em ensaios bem determinados de tamboramento do sinter em mil rotações. Trata-se de um ensaio mecânico bastante severo para um sinter que vai ser utilizado em

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

(7) Membro da ABM; Professor na EPUSP e Engenheiro do IPT; São Paulo, SP.

altos fornos, e que vai sofrer outros processamentos de trabalho mecânico muito menos severo do que este de tamboramento em 1000 rotações. Sob certo ponto de vista, o ensaio de três quedas que a CSBM usa normalmente para a determinação da fragmentação do sinter é também um ensaio de intensidade de sinterização. Apenas restaria ver qual o que conduzirá a resultados mais significativos para o operador. A segunda observação prende-se à redutibilidade que o senhor mencionou. Seria interessante assinalar que esse ensaio de redutibilidade corresponde a condições bem diversas das existentes nos altos fornos, e corresponde, se não me engano, o que o senhor menciona é uma redutibilidade em potes, pelo processo Högånäs, seguido de fusão em forno? Trata-se de um índice arbitrário que precisa ser correlacionado com o comportamento do sinter no alto forno. De modo que seria muito interessante que essa correlação venha a ser feita. Ela parece ser indispensável, tanto da intensidade de sinterização como da redutibilidade.

T. D. de Souza Santos — Em primeiro lugar, relativamente ao ensaio de intensidade de sinterização, está claro que ele é convencional, como todo ensaio tecnológico na busca de uma medida, de um número índice; até que ponto esse número índice pode ou não pode ser correlacionado com o comportamento real do sinter, isso cabe aos homens de usina determinar. Naturalmente isso é necessário. Mas o que sempre sentimos nesse assunto, e temos trabalhado nisso há já bastante tempo, é que positivamente não nos basta utilizar apenas adjetivos para qualificar o sinter. Urgia um ensaio tecnológico que fornecesse um número; está claro que esse número tem que ser interpretado, como qualquer número.

No trabalho que apresentámos ao «First International Symposium on Agglomeration» que se realizou recentemente no Estados Unidos, propus esse ensaio de intensidade de sinterização; por correspondência recebida, parece que o método proposto foi bem acolhido. Existe mesmo uma recomendação no sentido de que procurem as usinas levantar dados de intensidade de sinterização por um ensaio semelhante a este nosso, a fim de que entre elas se estabeleça uma linguagem comum, através de um mesmo ensaio.

A avaliação feita pela Companhia Belgo-Mineira é interessante, mas oferece uma medida bastante indireta do processo; como a intensidade de sinterização é avaliada pelo diâmetro médio, surgiria o problema de como determinar esse diâmetro médio do sinter depois de três tombos.

O segundo ponto, relativo à correlação dos ensaios de redutibilidade, está claro que é outro ensaio, o qual somente em condições relativamente padronizadas, fornece um número índice.

O desejável seria naturalmente se conhecer o comportamento de sinters diferentes, de condições diferentes, em altos fornos diferentes. Talvez isso possa ser correlacionado com os ensaios de redutibilidade.

A. C. Lopes (8) — Qual seria a idéia da correlação entre a sinterização a carvão vegetal e a de moinha de coque? Em suas experiências usa sempre carvão vegetal?

T. D. de Souza Santos — Nesta extensa série experimental que realizámos, usámos exclusivamente moinha de carvão vegetal.

(8) Membro da ABM; Engenheiro da SCANDIA Projetos de Engenharia Ltda.; Rio de Janeiro, GB.

A. C. Lopes — Em relação à contribuição do Dr. Corrêa da Silva, eu acredito que para grandes fornos a coque essa exigência de tamboramento é mais expressiva. E todos os altos fornos têm cuidados especiais para evitar que esses tombos sejam muito intensos. Mas acredito que nos grandes fornos a coque, como em Volta Redonda, seriam muito difíceis esses estudos. Mas o senhor acredita que com coque a intensidade de sinterização seria melhorada?

T. D. de Souza Santos — Tenho a impressão que não. Tudo depende da proporção de moinha de coque que se empregue. Porque a intensidade de sinterização há de depender, necessariamente, fixadas todas as variáveis na carga, de permeabilidade e de umidade ótimas, ela depende exclusivamente do desenvolvimento térmico das reações que dão calor à carga. Haverá, portanto, uma proporção de moinha de coque que equivale rigorosamente a uma dada proporção de moinha de carvão vegetal. Isso precisa ser determinado experimentalmente em cada caso.

Depende também do minério que se empregar. Não existem dois minérios iguais. Cada minério deve, de fato, ser estudado através de ensaios experimentais para cada caso particular.