

# FUSÃO DE PELOTAS AUTO-REDUTORAS EM FORNO CUBILÔ <sup>(1)</sup>

CARLOS DIAS BROSCH <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Em trabalho apresentado no XVIII Congresso Anual da A.B.M., foi mostrada a possibilidade de se obter alto grau de redução (mais de 90%), das misturas auto-redutoras de minério de ferro, em tempo curto (cêrca de 15 minutos) utilizando fornos de laboratório, mesmo em atmosfera oxidante. Em continuação àquela pesquisa foi ensaiada a fusão das pelotas auto-redutoras em forno Cubilô experimental, resultando um gusa de baixo carbono e baixos teores dos demais elementos.*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma rápida resenha da evolução dos processos de aglomeração dos minérios de ferro, permite melhor situar a presente tecnologia.

Os minérios finos puderam ser aproveitados nos altos fornos mediante prévia "sinterização". A prática industrial da sinterização mostrou existir uma faixa de granulometria conveniente para esta operação, sendo desaconselhado um minério com fração granulométrica ponderável abaixo de 200 microns. O aproveitamento de certos minérios de ferro de baixo teor, por processos especiais de concentração, produzia porém, finos de granulometria tôda inferior a 200 microns. Urgia portanto o estudo de um nôvo processo de aglomeração adequado à natureza de minérios de grãos finamente divididos.

O artifício de se ajuntar aditivos escorificantes ao minério ou efetuar-se uma operação prévia de micro-pelotização anterior à sinterização, resolvia em certos casos a dificuldade apontada.

(1) Contribuição Técnica n.º 536. Apresentada ao XIX Congresso Anual da ABM; São Paulo julho de 1964.

(2) Membro da ABM e Doutor em Metalurgia; responsável pela Secção de Característica e Beneficiamento das Matérias Primas Siderúrgicas da Divisão de Metalurgia do I.P.T.; São Paulo, SP.

O “sinter-calçáreo”, o “sinter auto-fundente” ou o “sinter-pelota”, resultavam de misturas sinterizáveis nas quais se tolerava maior teor da fração fina do minério.

A “pelotização” foi, porém, o processo que se impôs como de tecnologia mais adequada à obtenção de aglomerados, “pelotas”, para uso nos altos fornos, partindo de minérios com ponderável fração granulométrica inferior a 200 microns ou mesmo constituídos exclusivamente de finos de menor dimensão.

A calcinação das pelotas, em fornos a óleo, consome porém, considerável quantidade de combustível por tonelada de pelota produzida, que corresponde a cêrca de 300.000 kcal.

O “Bureau of Mines” dos EE.UU., desenvolveu em 1961 em forno-pilôto, um processo em que as pelotas ao mesmo tempo em que se enrijeciam mediante calcinação em forno de atmosfera redutora, enriqueciam-se em teor de ferro, isto é, obtinha-se “pelotas pré-reduzidas”. Justificava-se, desta forma, o gasto de combustível com a preparação das pelotas, numa operação não somente de calcinação, para produzir pelotas com alta resistência mecânica, mas também de pré-redução. O uso das *pelotas pré-reduzidas*, “metallized pellets”, parece extremamente interessante, pois pode aumentar a produtividade e diminuir o “coke-rate” dos altos fornos, de maneira muito mais pronunciada que a conseguida com pelotas simplesmente calcinadas pelo processo clássico (pelotas oxidadas).

Em vista do sucesso obtido com o uso de pelotas pré-reduzidas nos altos fornos, vários pesquisadores tentaram obtê-las partindo de misturas auto-redutoras. Até então algumas misturas contendo apenas 1% a 5% de elemento redutor, tinham sido experimentadas. Em abril de 1963, J. A. Innes, apresentou resultados espetaculares, utilizando misturas auto-redutoras, consistindo de minério de ferro e coque miudo em proporção de 18 a 25% de elemento redutor. O mais interessante era que Innes utilizava fornos de atmosfera oxidante para obter as pelotas de esponja de ferro.

Em junho de 1963, o I.P.T. de São Paulo reproduziu as experiências de Innes, utilizando minérios de ferro de Minas Gerais, e experimentando-se, pela primeira vez, o efeito do carvão de madeira como elemento de auto-redução de pelotas.

Os ensaios sucederam-se no I.P.T. de São Paulo, tentando obter, em equipamento pilôto, os resultados conseguidos em laboratório. Ensaiou-se, com auspicioso êxito, a fusão de pelotas auto-redutoras em cubilô e a obtenção de sinter pré-reduzido em fornos de sinterização.

Essa fusão de pelotas auto-redutoras teve o mérito, ao que se sabe, de *ser a primeira vez que se obtém, utilizando-se forno*

*cubilô*, a fusão e redução de pelotas auto-redutoras de minério de ferro (\*).

## 2. MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS

— *Minério de ferro* (amostra 1) — Procedente da Mina da Conceição, da Cia. Vale do Rio Doce; classificada como “hematita branda” pulverulenta.

TABELA I

Granulometria dos materiais utilizados nas experiências

Peneiras Nº USS	Diâmetro máximo (mm)	Amostras				
		1	6	7	8	11
(2 3/4")	69,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
(2 1/2")	63,5	100,0	100,0	60,0	100,0	100,0
(2")	50,8	100,0	100,0	40,0	100,0	100,0
(1")	25,4	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0
12 mesh	1,680	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0
20 mesh	0,840	64,1	0,0	0,0	100,0	0,0
30 mesh	0,590	60,9	0,0	0,0	100,0	0,0
40 mesh	0,420	59,0	0,0	0,0	99,7	0,0
70 mesh	0,210	57,0	0,0	0,0	98,7	0,0
100 mesh	0,149	54,8	0,0	0,0	95,7	0,0
140 mesh	0,105	53,2	0,0	0,0	91,7	0,0
200 mesh	0,074	48,9	0,0	0,0	86,5	0,0
270 mesh	0,053	45,4	0,0	0,0	81,0	0,0
325 mesh	0,044	39,3	0,0	0,0	51,0	0,0
	0,035	25,2	0,0	0,0	1,0	0,0
	0,026	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Amostra 1 — Minério de ferro  
 Amostra 2 — Gusa refundido  
 Amostra 3 — Refusão de Gusa e Pelotas  
 Amostra 4 — Pelotas fundidas da Corrida 1  
 Amostra 5 — Pelotas fundidas da Corrida 2  
 Amostra 6 — Gusa carregado  
 Amostra 7 — Coque da Cia. do Gaz do Rio de Janeiro  
 Amostra 8 — Carvão vegetal  
 Amostra 9 — Alcatrão petroquímico  
 Amostra 10 — Escória do Cubilô  
 Amostra 11 — Calcáreo.

(\*) As pelotas auto-redutoras não sofreram o efeito da redução, ao contrário das “pelotas pré-reduzidas” ou “pelotas metalizadas”.

As características granulométricas, antes e após a moagem, acham-se expressas na Tabela I. Os resultados da análise química figuram na Tabela II.

- *Gusa* (amostra 6) — Proveniente de Divinópolis, Minas Gerais. Ver Tabelas I e II.
- *Oleo residual n.º 6* (amostra 9) — Procedente da Refinaria de Capuava; a análise química acha-se expressa na Tabela II.
- *Coque* (amostra 7) — Procedente da Cia. de Gás do Rio de Janeiro. Ver Tabelas I e II.

TABELA II

Composição química dos materiais utilizados nas experiências

Determinações (%)	Amostras										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Unidade	-	-	-	-	-	-	0,10	10,8	-	-	-
Mat. voláteis ou	-	-	-	-	-	-	1,30	14,1	-	-	42,5
Carbono total	-	3,49	3,27	2,02	2,40	3,87	-	-	-	-	-
Carbono fixo	-	-	-	-	-	-	88,0	61,8	-	-	-
Silício (óxido)	0,73	1,96	1,54	0,15	0,19	1,08	-	-	-	37,0	4,96
Alumínio (óxido)	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	19,1	0,26
Manganês (óxido)	-	0,38	0,31	0,09	N.E.	0,13	-	-	-	-	-
Ferro (óxido)	97,1	-	-	-	-	-	-	-	-	37,9	0,90
Fósforo	0,01	0,37	0,31	0,23	0,12	0,57	-	0,18	-	-	-
Enxofre	-	0,17	0,22	0,36	0,24	0,036	0,76	0,22	4,52	-	-
Cinzas	-	-	-	-	-	-	10,6	13,9	0,09	-	-
Óxido de sódio	0,24	-	-	-	-	-	-	-	0,20	-	-
Óxido de potássio	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Óxido de vanádio	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0018	-	-
Óxido de cálcio	tr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,2
Óxido de magnésio	tr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,19
Óxido de manganês	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- *Calcáreo* (amostra 11) — Procedente do Salto de Pirapora, SP. Análises expressas nas Tabelas I e II.
- *Carvão vegetal* (amostra 8) — Proveniente de Apiai, SP, com análises granulométricas e químicas expressas nas Tabelas I e II.

### 3. EQUIPAMENTO UTILIZADO

- Moinho de bolas de descarga periférica de 100 litros de capacidade e 3 HP de potência.

- Misturador para misturas secas (“tipo betoneira”) de 80 litros de capacidade de carga.
- Misturador para misturas úmidas tipo “Simpson n.º 0”, de 60 quilos de capacidade de carga.
- Disco pelletizador de 60 cm de diâmetro (Fig. 1).

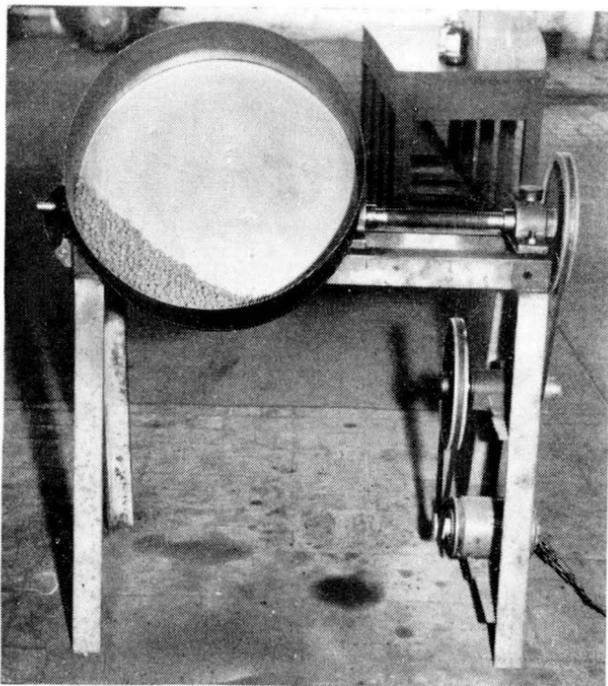


Fig. 1 — Disco — pelletizador de 60 cm de diâmetro, construído no IPT.

- Estufa de secagem; estufa elétrica para machos de areia de fundição, com atmosfera circulante.
- Forno cubilô experimental de 22 cm de diâmetro interno, construído no I.P.T. (Vide Boletim da A.B.M., n.º 58, vol. 16).

#### 4. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. — Minério usado na preparação das pelotas auto-redutoras — O minério, por possuir fração apreciável entre 10 e 50, foi apenas peneirado em 70 malhas. Utilizou-se pois nos ensaios,

finos de minério, contendo 80% dos grãos abaixo de  $50 \mu$  e não possuindo praticamente material de finura inferior a  $25 \mu$ . A granulometria portanto se diferenciou daquela recomendada para as pelotas oxidadas e que devem contar cêrca de 15% grãos de dimensão inferior a  $10 \mu$ . Foi avaliada a superfície específica dêste minério em apenas  $445 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

4.2. — Mistura a ser pelletizada — Em um misturador Simpson foi homogeneizada a seguinte mistura — Minério: 50 quilos; Carvão: 10 quilos; Alcatrão: 6,5 quilos.

Após a mistura sêca dos minérios e do carvão, durante 2 minutos, era colocado o alcatrão e homogeneizada a mistura por mais 8 minutos, perfazendo o tempo total de dez minutos de operação.

4.3. — Pelotização — Uma vez homogeneizada a “mistura”, era a mesma transferida para o disco-pelotizador. Nêste equipamento obtinha-se a formação de pelotas num tempo de operação

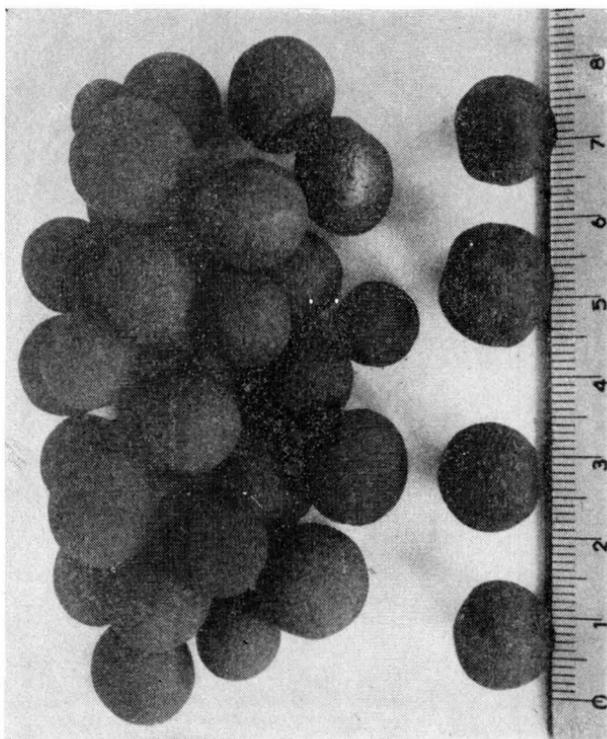


Fig. 2 — Pelotas auto-redutoras, calcinadas à  $400^\circ\text{C}$  durante 4 horas.

de cerca de 20 minutos, variando a dimensão das pelotas entre 4 mm e 12 mm. As pelotas assim formadas possuíam uma resistência média à compressão de 0,85 kg de carga de rompimento por pelota.

4.4. — Secagem das pelotas — As pelotas eram transferidas do disco-pelotizador para a estufa de secagem, tendo-se utilizado nas experiências em curso, estufa para machos de areia de fundição num ciclo de cerca de 4 horas a 400°C. As pelotas secas possuíam uma resistência média à compressão de 42,4 kg de carga de rompimento por pelota. As pelotas secas continham 25% de carbono e 50% de ferro.

TABELA III  
Boletim de Carga (kg)

Materiais carrega- dos	Pelotas		Coque		Gusa		Calcáreo		Puri- ta	Fluo- rita	Areia
	1	2	1	2	1	2	1	2			
Nº da ex- periência	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1
Camã	-	24,0	18,5	-	-	-	1,0	0,14	0,56	-	-
1a.	A	-	-	-	20,0	8,0	-	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
2a.	A	-	-	-	20,0	8,0	-	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,5	0,16	0,08	0,08
3a.	A	4,0	-	-	16,0	8,0	-	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,5	0,16	0,08	0,08
4a.	A	8,0	5,0	-	-	12,0	4,0	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,5	0,16	0,08	0,08
5a.	A	12,0	5,0	-	-	8,0	4,0	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,5	0,16	0,08	0,08
6a.	A	16,0	5,0	-	-	4,0	4,0	-	-	-	-
	B	-	-	3,0	1,5	-	-	0,5	0,16	0,08	0,08
7a.	A	20,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
8a.	A	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
9a.	A	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
10a.	A	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
11a.	A	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
12a.	A	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	1,5	-	-	0,16	0,08	0,08	-
13a.	A	-	7,6	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAIS	60,0	82,6	42,0	36,5	80,0	36,0	2,5	2,92	1,10	1,52	7,0

4.5. — Fusão em cubilô — Foi utilizado o cubilô experimental de 22 cm de diâmetro interno existente no I.P.T., apenas modificadas as ventaneiras, e adaptado um medidor de vazão de ar.

O boletim da carga das duas corridas, acha-se resumido na Tabela III. As primeiras cargas compunham-se somente de gusa, seguidas de mistura de gusa e pelotas e a maior parte das cargas era constituída unicamente de “pelotas” auto-redutoras. (Ver experiência n.º 2, na Tabela III).

TABELA IV  
Fusão de pelotas em cubilô experimental

Dados de operação		Corridas	
Ítem	Designações	Nº 1	Nº 2
1	Data da realização	20. 11. 63	16. 4. 64
2	Altura da cama de coque	100 cm	80 cm
3	Pressão média do ar	18 cm água	25 cm água
4	Vazão média do ar	4,3 m <sup>3</sup> /min.	3,8 m <sup>3</sup> /min.
5	Número de cargas	7	13
6	Tempo de operação	36 min.	30 min.
7	Metal vazado	99,8 kg	71,3 kg
8	Quantidade da escória	17,0 kg	9,3 kg
9	Ferro derretido	97,6 kg	69,5 kg
10	Ferro contido no gusa	76,0 kg	34,2 kg
11	Ferro contido nas pelotas	27,2 kg	40,1 kg
12	Ferro obtido no gusa	73,5 kg	33,2 kg
13	Ferro reduzido das pelotas	24,1 kg	36,3 kg

Observações: Ítem (10) = 95% do gusa. Ítem (11) = 45,4% a 48,6% das pelotas. Ítem (12) + (13) = 97% a 98% do ítem (7).

Os dados de operação acham-se expressos na Tabela IV.

Na corrida n.º 1, introduziu-se ar enriquecido em O<sub>2</sub> (cêrca de 27% de oxigênio), com o objetivo de se obter maior temperatura de vazamento (acima de 1.400°C). A corrida do gusa era feita cada 6 minutos.

A temperatura do metal derretido era de cêrca de 1.400°C, após o segundo “tapping”.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

— Coke-rate — Do boletim de carga, tiramos os seguintes dados: Coque carregado nas 2 corridas: 42,0 + 36,5 = 78,5 kg. Coque consumido (descontada as sobras de 19,6 kg): 58,9 kg. Metal vazado: 171,1 kg.

Portanto, o consumo específico de coque ou "coke-rate", foi de:  $58,9/171,1 \times 1000 = 344$  kg/t gusa ou 303 kg carbono/t gusa.

Considerando o carbono contido nas pelotas (25%) ou seja  $0,25 \times 142,6 = 35,7$  kg, têm-se  $35,7/171,1 \times 1000 = 208$  kg/t gusa.

O coque-rate global, corresponde a:  $303 \times 208 = 511$  kg C/t gusa.

Rendimento metálico — Considerou-se como rendimento metálico aquêlê definido pela relação — Ferro reduzido das pelotas (item 13): Ferro contido nas pelotas item (11).

Corrida n.º 1:

$$\text{Rendimento metálico} = \frac{24,1}{27,2} = 88,5\%.$$

Corrida n.º 2:

$$\text{Rendimento metálico} = \frac{36,3}{40,1} = 90,4\%.$$

Produtividade na operação de fusão — Considerou-se como índice de produtividade da operação de fusão aquêlê definido pela relação — Metal derretido: área do forno  $\times$  tempo.

Corrida n.º 1 — Produtividade: 4.180 kg/m<sup>2</sup>/h.

Corrida n.º 2 — Produtividade: 3.830 kg/m<sup>2</sup>/h.

## 6. JULGAMENTO DO RESULTADOS OBTIDOS

6.1. — O coke-rate obtido na fusão experimental é aparentemente baixo, 51,1 kg C/t gusa — comparado ao índice usualmente obtido nos altos fornos. Como o cubilô foi operado iniciando-se com carga mista de gusa e pelotas e levando em conta que, em operação de simples fusão êsse forno costuma exibir consumos inferiores a 150 kg de coque por ton. de gusa derretido, conclue-se que, a influência da carga de pelotas sôbre a elevação do consumo de coque é grande. Ê de se esperar que menores índices de consumo de coque sejam obtidos na fusão de pelotas auto-redutoras utilizando ar preaquecido no cubilô.

6.2. — O rendimento de 90% na recuperação metálica alcançado na operação de fusão poderá ser melhorado, se se conseguir reduzir o teor de FeO na escória (37,9% na corrida n.º 1 e 16% na corrida n.º 2) e se se reduzir o volume relativo da escória (17,3% na corrida n.º 1 e 13% na corrida n.º 2) sôbre o metal vazado.

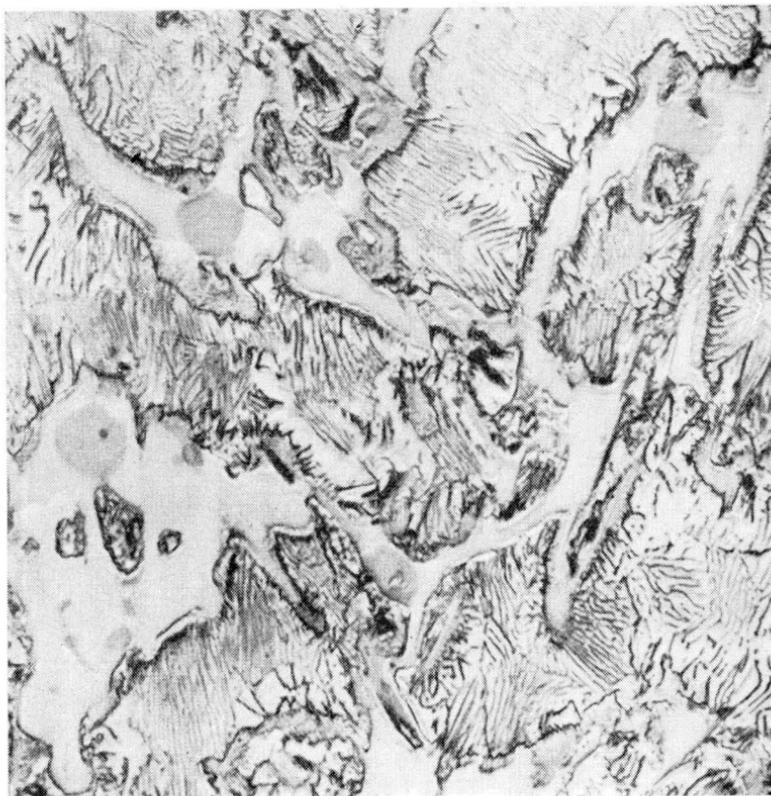


Fig. 3 — Aspecto micrográfico do gusa obtido da fusão das pelotas auto-redutoras, notando-se a rede de cementita em fundo perlítico (500 ×).

6.3. — O alto teor de fósforo no metal vazado, foi provocado pela contaminação do gusa das primeiras cargas e que continha 0,57% de P. Não haverá dificuldade em se obter ferro de baixo teor de fósforo das pelotas auto-redutoras, desde que o teor dêste elemento nos componentes da carga seja baixo valor.

6.4. — O teor de enxôfre encontrado no metal vazado é relativamente alto, decorrente do elevado teor dêste elemento no alcatrão empregado como aglomerante, onde alcança o valor de 4,52%. A corrida n.º 2 (amostra n.º 5) mostrou que usando-se uma parte das pelotas (cêrca de 10%) contendo alcatrão de menor teor de enxôfre (0,51%) redundava em razoável abaixamento do teor dêste elemento no metal, passando de 0,36 a 0,24%.

Não haverá dificuldade em se reduzir o teor do enxôfre, no metal vazado, a limites aceitáveis se se empregar um aglomerante contendo menor teor desta impureza.

6.5. — A temperatura de vazamento de ordem de 1400°C, na bica do cubilô, é satisfatória no início da corrida, onde predomina o metal proveniente da fusão do gusa. No fim da corrida, foi julgada esta temperatura insatisfatória, passando o metal a fluir com mais dificuldade.

O uso de coque de melhor qualidade e a adoção de ar pré-aquecido, contribui para solver esta dificuldade operatória. É sabido que se alcança, com facilidade, temperaturas acima de 1500°C, na bica de corrida de cubilôs operando naquelas condições.

6.6. — O metal obtido, gusa, continha cêrca de 2% de carbono e baixos teores dos demais elementos, apresentando fratura branca. Mediante aumento da altura do cadinho do forno poder-se-ia obter gusa (Fig. 3) de maior teor de carbono, presumivelmente com fratura cinzenta, se houver interêsse.

## 7. CONCLUSÕES

7.1. — É possível obter-se uma liga de ferro-carbono (cêrca de 2% dêste elemento) partindo-se de pelotas auto-redutoras, apenas calcinadas (não pré-reduzidas portanto).

Demonstrou-se que no forno cubilô pode ser realizada uma operação de redução direta do minério de ferro pulverulento, comportando-se pois êsse equipamento como um baixo forno de redução.

7.2 — Na operação do cubilô, para a fusão de pelotas auto-redutoras, será interessante estudar-se, no futuro, a adoção de condições que facilitem o aumento da temperatura de vazamento, como sejam:

- uso de ar pré-aquecido, utilizando o calor latente e sensível dos gases desprendidos;
- injeção de óleo e oxigênio nas ventaneiras.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos

aos colaboradores da Secção de Características e Beneficiamento de Matérias Primas Siderúrgicas, Engs. J. M. Cabezudo, R. Pimentel de Souza, Srs. Ricardo Ricci, Silvio Monteiro, Orlando Patrício e Clarindo Nunes que participaram da operação de preparação de pelotas e fusão em cubilô.

## BIBLIOGRAFIA

1. BROSCH, CARLOS DIAS — *Evolução recente do processo de pelotização de minérios de ferro*, Boletim ABM, N.º 78, vol. 19, página 757.
2. SANTOS, L. A. L. e C. GUIMARÃES — Boletim A.B.M., N.º 58, vol. 16, página 157.
3. NORWOOD B. MELCHER and M. B. ROYER — *Smelting Unfired Iron Ore Pellets in an Experimental Blast Furnace*, Federal Bureau of Mines: (Blast Furnace and Steel Plant for December 1960).



## DISCUSSÃO

**W. S. Emrich** <sup>(1)</sup> — Desejo agradecer ao Eng. Carlos Dias Brosch pela apresentação do seu trabalho. É a segunda vez que ele vem aos Congressos da ABM com contribuição tão relevante sobre o assunto. Como temos três trabalhos sobre o mesmo assunto — pelotização — vamos iniciar a discussão do primeiro. Passo a palavra ao nosso orientador dos debates.

**O. H. Leonardos** <sup>(2)</sup> — Antes de dar a palavra ao auditório, desejo insistir na vantagem de restringirmos as discussões à tese agora apresentada, porque a seguir teremos dois trabalhos que também versam sobre pelotização, e se formos discutir de início toda a matéria nos alongaríamos muito. Quero acentuar igualmente que se trata de trabalho de grande originalidade, cuja primeira parte o eng. Carlos Dias Brosch já apresentou no Congresso da ABM de há dois anos; está publicada no Boletim n.º 78, da nossa Associação. A importância econômica desse processo, praticamente novo, de redução direta das pelotas em cubilô, merece ser destacada desde logo.

**L. F. Sarcinelli Garcia** <sup>(3)</sup> — Ocorre-me primeiramente indagar, uma vez que se está pensando em produção industrial, como o eng.º Brosch idealizou o aparelho de endurecimento ou de calcinação industrial dessas pelotas. Será normalmente em estufas de macho ou pensou em algum outro tipo de aparelho?

**C. D. Brosch** <sup>(4)</sup> — Realmente se pensou, como primeira etapa, em estufas de macho, ou de moldes, que podem atingir grandes proporções. São estufas que permitem prateleiras espaçadas de 5 a 10 cm., contendo um volume de pelotas que teria, presumivelmente a mesma relação de utilização volumétrica dos machos numa fundição, atingindo capacidade de algumas toneladas. Seria um forno industrial para secagem das

---

(1) Membro da ABM; Presidente da Comissão; Engenheiro da Companhia Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.

(2) Membro da ABM; Orientador dos debates da Comissão; Diretor da Escola Nacional de Geologia; Rio de Janeiro, GB.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da CVRD; Rio de Janeiro, GB.

(4) Membro da ABM; Engenheiro e Doutor em Metalurgia; do IPT de São Paulo.

pelotas num ciclo de duas a quatro horas, podendo produzir cerca de 4 toneladas de pelotas, ou seja, uma tonelada por hora.

Pode-se realmente pensar em acelerar esse processo, passando-se de uma primeira fase de secagem estacionária para uma segunda fase, após o endurecimento inicial, em forno rotativo, onde essa secagem seria acelerada, as pelotas movimentando-se, mas possuindo uma resistência maior, permitindo então o uso desse tipo de equipamento, em que há uma movimentação da carga.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Queria chamar a atenção para a primeira parte do início do endurecimento, onde me ocorreu que a resistência apresentada é relativamente pequena. De modo que se deve ter o cuidado, de início, de não se fazer nenhum manuseio com as pelotas ainda úmidas, pelo menos enquanto apresentarem essa resistência.

**C. D. Brosch** — Outra possibilidade seria a da utilização do equipamento do tipo **standard**, grelhas moveis, usado em sinterização. Faz-se então uma secagem em «up draft», com passagem de gases quentes através da grelha. Seria, como o senhor conhece muito bem, o processo **Grate-Kiln**, da **Allis Chalmers**, plenamente aplicável.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Como sabemos, a **PETROBRÁS** está estudando a produção de coque de petróleo, que é um material extremamente puro, com óleo baiano com baixo teor de enxôfre, praticamente com ausência de voláteis no coque já calcinado. É da ordem de 10% no coque verde. O coque de petróleo, como é combustível, poderia ser um material excelente para adição nessas pelotas, na falta de moinha de carvão, de que nem todos dispõem. O teor de enxôfre desse coque seria inferior a 0,5%. Um dos problemas da **PETROBRÁS** é procurar mercado para fazer essa fabricação. Ela está procurando nas diferentes entidades uma aplicação para os sub-produtos. Se o senhor obtiver sucesso com essa prática, poderá ajudar em muito a **PETROBRÁS**, para pôr em funcionamento o que pretende.

**C. D. Brosch** — Agradeço a sugestão. Ela coincide com o nosso pensamento em relação ao prosseguimento das experiências. Aliás, já fizemos viagens à Bahia nesse sentido.

**J. M. Cabezudo Sanches** <sup>(5)</sup> — Em face dos resultados obtidos, desejaria conhecer alguma opinião complementar, a respeito das possibilidades futuras do uso industrial, em cubilô, dessas pelotas.

**C. D. Brosch** — Creio que esse processo teria seu campo de aplicação especialmente em pequenas indústrias em que a faixa de produção de gusa, anual ou mensal, seja inferior à de um alto forno de proporções modestas, digamos de 20 a 30 toneladas por dia de 24 horas. Sempre que uma indústria exigir produção de gusa inferior a essa faixa quantitativa, penso que esse processo teria aplicação adequada. De modo que a primeira restrição seria quanto ao volume de produção, isto quanto ao aspecto quantitativo da produção.

Em segundo lugar, há que se considerar o aspecto qualitativo do gusa produzido, particularmente quando se deseja, por exemplo, para a fabricação de aços, partir-se diretamente do gusa, à semelhança do **washed metal**, que se usa quando se quer metal contendo simplesmente carbono e ferro, com baixo teor dos demais elementos. Nesse caso, esse processo

(5) Membro da ABM; da Ford Motor do Brasil; São Paulo, SP.

seria bastante viável, quer dizer, iria produzir gusa com teores baixos dos demais elementos, silício abaixo de 0,08%, ausência de manganês, chegando a se obter traços de manganês. Portanto, quando se desejar obter gusa contendo praticamente ferro e carbono, êsse processo seria adequado. Considero êsses dois aspectos como os principais a serem analisados nêsse nôvo processo.

**J. M. Cabezudo Sanches** — Sempre se teria como base a necessidade de haver um refino posterior. Por enquanto, não se cogitaria do seu uso direto. Em face, sobretudo, dessa sugestão do eng<sup>o</sup>. Sarcinelli Garcia, de que poderá obter muito baixo teor de enxôfre, mesmo assim precisaria refino posterior?

**C. D. Brosch** — Seria necessário um refino no caso da obtenção de ferro fundido cinzento. Querer obter ferro fundido para fundição, seria procurar, a nosso ver, uma finalidade menos nobre para êsse processo. Será preciso então outro forno de cadinho, para a carburação e introdução de silício ou outro elemento necessário para se ter um ferro fundido cinzento.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Gostaria de saber ainda do eng<sup>o</sup>. Brosch alguma informação sôbre as características físicas das pelotas. Além da resistência à compressão, qual seria, digamos, por um teste de abrasão, o índice de abrasão da pelota, pensando-se na instalação de uma usina central que pudesse distribuir para as diferentes fundições, ou se cada fundição teria que ter sua usina particular.

Êste aspecto, sob o ponto de vista dos nossos mineradores, tem importância para sabermos se podemos pensar em mais êsse investimento ou se simplesmente devemos vender os minérios para as usinas de pelotização.

**C. D. Brosch** — Do ponto de vista dos mineradores, esta pergunta é muito pertinente. Entretanto, posso informar-lhe que não chegamos a detalhes quanto aos testes e ensaios de abrasão das pelotas, para dar uma idéia exata de que a pelotização nêste caso tem índice de abrasividade suficiente para o uso prático. No teste ASTM prevemos um valor de abrasividade da ordem de 6%. Esta é, em todo o caso, uma primeira idéia a que nos falta confirmação.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — O senhor pode nos informar se já imaginou como seria esta prática? Pelo próprio interêsse que o assunto vem despertando, desejaria que nos informasse o que pensa a respeito do seguinte: os fundidores gostariam de receber as pelotas prontas ou fazer a própria pelotização na usina?

**C. D. Brosch** — Acho que é uma questão de tamanho. Se comportar uma produção ou um consumo de pelotas superior a 5 toneladas por hora, êles poderiam ter a sua própria usina de pelotização. Se fôr um consumo inferior, a fundição que fizesse uma ou duas corridas por semana, seria interessante comprar de terceiros as pelotas.

**F. Pinto de Souza** (6) — Naturalmente, o rumo tomado para utilização das pelotas auto-redutoras foi o cubilô. Está correto. Mas se pensou na oportunidade do emprêgo, pelo menos parcialmente, em alto forno? Aliás, é prática na Europa e em outros países, fazer uma certa carga de sucata no alto forno. Em substituição à sucata para enrique-

(6) Membro da ABM; Professor na Escola de Engenharia da U.M.G.; Diretor da Samitri; Belo Horizonte, MG.

cimento da carga do alto forno, pensou-se na possibilidade da exportação das pelotas auto-reduzidas, naturalmente valorizadas em termo de competição de sucata. Evidentemente, o maior emprêgo de sucata na carga de alto forno é para recircular a sucata disponível que não tem outro emprêgo. Também tem sido empregada para melhorar a carga do alto forno.

Pergunto: pensou-se na possibilidade de exportar essas pelotas auto-reduzidas?

**C. D. Brosch** — Há de fato, muito interêsse na aplicação de pelotas auto reduzidas como o Prof. Pinto de Souza se referiu, em substituição à sucata, quer dizer, um material metálico carregado ao lado do minério.

Entretanto, há a restrição quanto à resistência das pelotas ao esmagamento, relativamente ao tipo de pelotas que tem sido preparado atualmente e que possuem alta porosidade e baixa resistência. Mas temos a convicção de que essas pelotas foram realmente preparadas para serem destinadas à obtenção de pelotas calcinadas de alta resistência (como é o caso das pelotas oxidadas, em que se parte de minério com superfície específica bastante alta e não como foi o caso em que se partiu de minério «jacutinga», simplesmente peneirado no intuito de simplificar a técnica e baratear o processo) obter-se-ia pelotas auto-redutoras com resistência à compressão suficiente para aplicação em alto-forno. Um visitante inglês, o Prof. Honeycomb quando em visita ao IPT perguntou da possibilidade de carregar no alto-forno as pelotas alto redutoras, não calcinadas; o alto-forno funcionaria como forno de calcinação dessas pelotas. É, outra possibilidade a estudar.

**H. Pfeifer** (7) — Desejo congratular-me com o eng<sup>o</sup>. Carlos Dias Brosch pelo excelente trabalho apresentado, e pedir-lhe licença para dirigir uma questão ao eng<sup>o</sup>. Sarcinelli Garcia, que abordou aspectos relacionados à sua palestra.

No caso da aplicação das pelotas auto-redutoras em alto-forno, não surge êsse problema. Porém, no caso da sua aplicação em cubilô, para ferros fundidos ou para posterior refino, o redutor apresentado como foi anunciado no trabalho deve satisfazer a determinadas características. Foi aventada a hipótese do emprêgo de coque do petróleo, e gostaria de perguntar ao eng<sup>o</sup>. Sarcinelli se possui dados também quanto ao volume provável de produção e preços por parte da PETROBRAS.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Pelo que me foi dito, na PETROBRAS estão fazendo um exame do mercado para estudar o dimensionamento da usina. A menor usina possível para êles, por questão de investimento, seria a que distilasse 400 mil toneladas de óleo, o que viria dar 62 mil toneladas de coque de petróleo verde e uma série de outros produtos. Eventualmente, essa usina ainda poderia trabalhar produzindo 32 mil toneladas anuais de coque de petróleo verde, em condições econômicas.

O preço não me foi fornecido em caráter oficial, de modo que prefiro não mencioná-lo aqui.

Estão fazendo um levantamento, não só pela questão do preço da concorrência, mas quanto ao preço pelo qual a PETROBRAS poderá vender em caráter econômico. O preço do custo será baixíssimo, de modo que não haverá interêsse dêles em vender em concorrência com o coque para

(7) Membro da ABM; Diretor Técnico da Aços Finos Piratini; Pôrto Alegre, RS.

cubilô mesmo porque êsse coque da PETROBRÁS não tem muitas características de combustível; tem mais características de redutor. Terá, pois, o seu mercado limitado. Eles terão que se submeter às condições do mercado.

**C. D. Brosch** — Posso confirmar que a Refinaria Capuava está estudando exatamente a produção do coque petroquímico para emprêgo no cubilô, e que os primeiros testes foram promissores, competindo com o coque atualmente empregado no cubilô.