

# Recirculação de escórias como fator de aumento da produção de gusa em fornos elétricos de redução<sup>(1)</sup>

RUBENS CORRÊA DA SILVEIRA <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Características das escórias dos baixos fornos, aciaria e da fabricação do ferro-manganês. Estudo comparativo de cargas compostas com fundentes carbonatos e com escórias, em substituição à parte dos carbonatos. Balanço térmico de cinco cargas com: a) fundentes carbonatos; b) 100 kg de escória da aciaria em lugar de parte dos carbonatos e quartzo; c) idem 100 kg de escória dos baixos fornos; d) idem, 50 kg de escória da fabricação do ferro-manganês; e) somente escórias.*

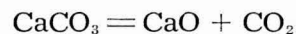
## 1. INTRODUÇÃO

Na prática da fabricação de ferro gusa em fornos de redução, a temperatura da escória está normalmente situada entre 1400 a 1500°C, e a carga deve ser ajustada para que, a esta temperatura, a composição da escória esteja em uma faixa que assegure a formação de um líquido de baixa viscosidade. Simultaneamente, a composição da escória deve ser ajustada de forma a apresentar a mais baixa atividade possível dos elementos que não são desejáveis no gusa, e vice-versa<sup>1</sup>. É extremamente raro que o conteúdo da ganga de um minério, juntamente com as cinzas do redutor, satisfaçam a estes requisitos e, por este motivo, um outro componente (fundente) é normalmente introduzido na carga.

As adições mais comuns nas cargas não auto fundentes são o calcário e o dolomito. Na hipótese de se utilizar cem por cento de aglomerados, a cal ou magnésia vêm já incorporadas ao sinter ou pelotas.

Na Companhia Siderúrgica Mannesmann, durante longo período foram utilizadas cargas unicamente com minério, calcário, dolomito, quartzo e redutores. Isto naturalmente implicava em baixos índices de produtividade pelas razões as quais analisaremos.

As reações de dissociação dos carbonatos de cálcio e magnésio são endotérmicas.



$$\Delta H^{2980\text{K}} = + 42,45 \text{ Kcal mol}^{-1}$$



$$\Delta H^{2980\text{K}} = + 28,11 \text{ Kcal mol}^{-1}$$

e, além disto, provocam a diminuição do potencial redutor em CO do gás, e conseqüentemente, do índice de redução indireta. A reação de dissociação dos carbonatos ocorre em uma faixa de 700-900°C justamente quando um potencial de redução mais alto será necessário para redução do FeO para ferro metálico. Por estas razões principalmente é que foi sempre nossa preocupação a eliminação completa dos carbonatos da carga.

Não dispondo de sinterização, a idéia inicial foi a de substituir os fundentes carbonatos e quartzo, em parte ou totalmente, por escórias da aciaria (escórias básicas) e dos próprios baixos fornos.

Não deveríamos parar por aí, pois o minério de manganês poderia, também, ser vantajosamente substituído por escória da produção de ferro manganês.

Nesta contribuição será relatada nossa experiência com recirculação de escórias, oportunidade em que serão analisadas as dificuldades que

(1) Apresentado ao Simpósio sobre Eletrosiderurgia; Salvador, BA.; setembro de 1968.

(2) Engenheiro Civil, de Minas e Metalurgia; Chefe dos Serviços de Alto Forno e Baixos Fornos da Companhia Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.

poderão surgir com esta forma de operar e como poderão ser contornadas.

Naturalmente a aplicabilidade da recirculação de escórias só será válida nos casos particulares de usinas que ainda lutam contra as desvantagens da calcinação dos carbonatos em seus fornos de redução, e possuam escórias básicas disponíveis.

## 2. CARACTERÍSTICAS DOS FUNDENTES

A tabela I nos mostra a composição química dos fundentes carbonatos, quartzo e escórias utilizadas pela CSM.

TABELA I — Composição química dos fundentes utilizados pela CSM (%)

Discriminação	Fe	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	S
Calcário .....	0,81	0,54	0,98	—	54,42	—	0,054	—
Dolomito .....	0,38	0,19	0,17	0,20	30,25	21,45	—	—
Quartzo .....	1,96	—	97,20	—	—	—	—	—
Escória LD .....	21,74	4,93	12,70	3,14	35,24	12,00	0,890	0,148
Escória FE .....	14,46	4,40	17,84	2,84	46,28	6,81	0,750	0,138
Escória BF .....	2,34	3,58	37,04	15,56	35,06	4,28	0,030	0,066
Escória FeMn ..	1,82	25,69	27,10	18,28	11,96	0,48	—	0,100

A observação da tabela I nos permite deduzir, em princípio, quais seriam as principais vantagens e desvantagens da utilização de escórias, sob o ponto de vista metalúrgico. Poderíamos citar:

### a) vantagens

- as escórias, exceção feita à dos baixos fornos, possuem apreciável quantidade de Mn e Fe, cêrca de 20 — 26%, que se encontram sob a forma de MnO e FeO, respectivamente;
- CaO + MgO em tôrno de 47 — 52%, exceção feita à escória da produção de ferro manganês que apresenta 12% dêstes óxidos;
- escória do ferro manganês, praticamente isenta de P;

### b) desvantagens

- teor elevado de P nas escórias da aciaria;
- enxôfre;
- alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

A faixa granulométrica de todos os fundentes é de 15 — 40mm.

Nos fornos elétricos de redução, é muito importante o estudo de resistividade elétrica em função da temperatura, pois a produção dêstes fornos está intimamente ligada à resistividade, através do fator de potência, pela expressão:

$$P = K \cos \Phi / A \quad (1)$$

onde,

P = produção;

K = constante para cada forno;

cos  $\Phi$  = fator de potência;

A = consumo específico de energia <sup>2</sup>.

As figuras 1a, 1b, 1c, 1d, 1e e 1f nos mostram a dependência da resistividade elétrica com a temperatura para os já citados fundentes.

## 3. CÁLCULO DA ECONOMIA RESULTANTE DA SUBSTITUIÇÃO DE FUNDENTES CARBONATOS E QUARTZO POR ESCÓRIAS

Foram calculadas cinco cargas para produção de 1t de gusa sendo:

1) sômente com fundentes sob a forma de carbonatos e quartzo;

2) com 100kg de escória da aciaria em substituição a parte dos fundentes da carga 1;

3) com 100 kg de escória dos baixos fornos, idem;

4) com 50 kg de escória do ferro manganês, idem;

5) sem carbonatos, que foram substituídos, juntamente com o quartzo, por escórias da aciaria, dos baixos fornos e da fabricação de ferro manganês.

Para que pudesse ser estabelecida uma comparação, foram fixadas:

a) volume padrão de escória (500 kg/t de gusa), redutor (carvão vegetal), basicidade e composição do gusa, iguais nas cinco hipóteses;

b) carbono fixo por tonelada de gusa, variando em função do grau de oxidação do ferro e do manganês;

c) consumo de pasta Söederberg por tonelada de gusa inferido de gráfico <sup>3</sup>.

Em função do potencial redutor em CO e H<sub>2</sub> do gás e, da velocidade provável de carga, foram determinados os índices de redução indireta pelo CO e H<sub>2</sub> <sup>4, 5</sup> (leitura em gráfico).

Os volumes e as composições do gás final foram encontrados pelo cálculo, e a sua temperatura considerada constante. A temperatura do gusa — escória, inferida do diagrama ternário  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ . O consumo específico de energia foi calculado, em cada hipótese, pelo balanço térmico estabelecido com os dados anteriores. Os valores das porcentagens de perdas tér-

micas foram extraídos de gráfico <sup>6</sup>, partindo-se da produção provável. O valor numérico do fator de potência foi considerado idêntico para as cinco cargas uma vez que, o redutor utilizado foi sempre o carvão vegetal e a relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  também foi constante. A pequena diferença existente entre a resistividade elétrica das escórias e a dos fundentes carbonatos e quartzo não seria

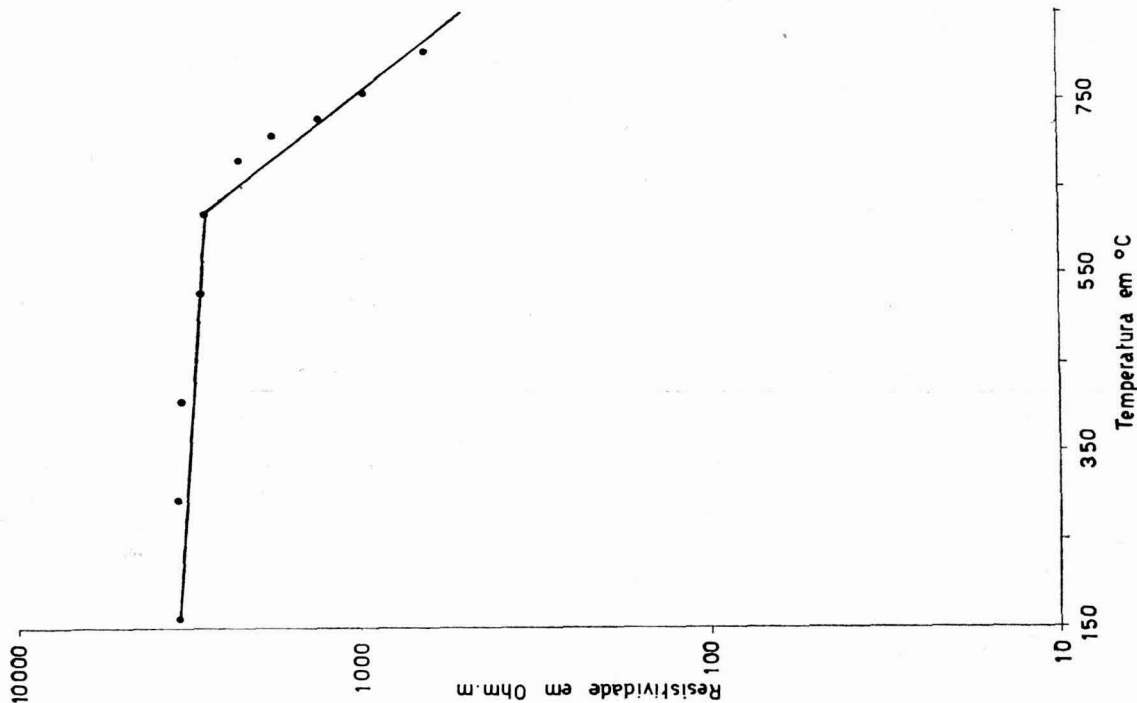


Fig. 1b — Variação da resistividade elétrica com a temperatura para o dolomito.

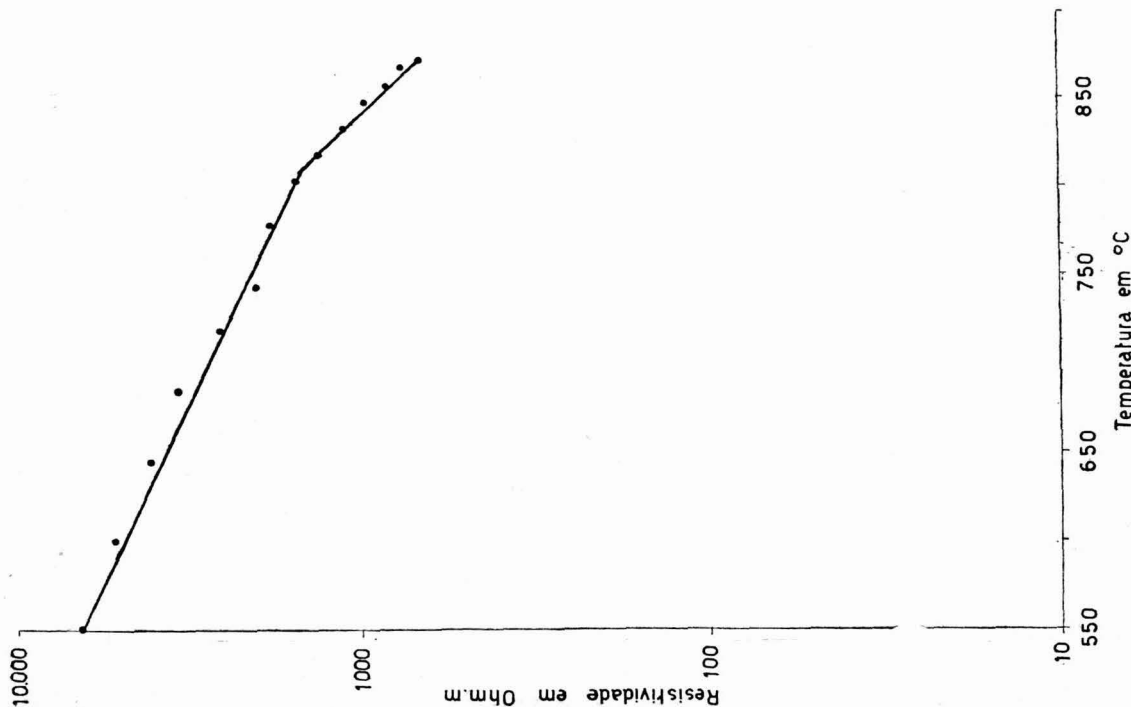


Fig. 1a — Variação da resistividade elétrica com a temperatura para o calcário.

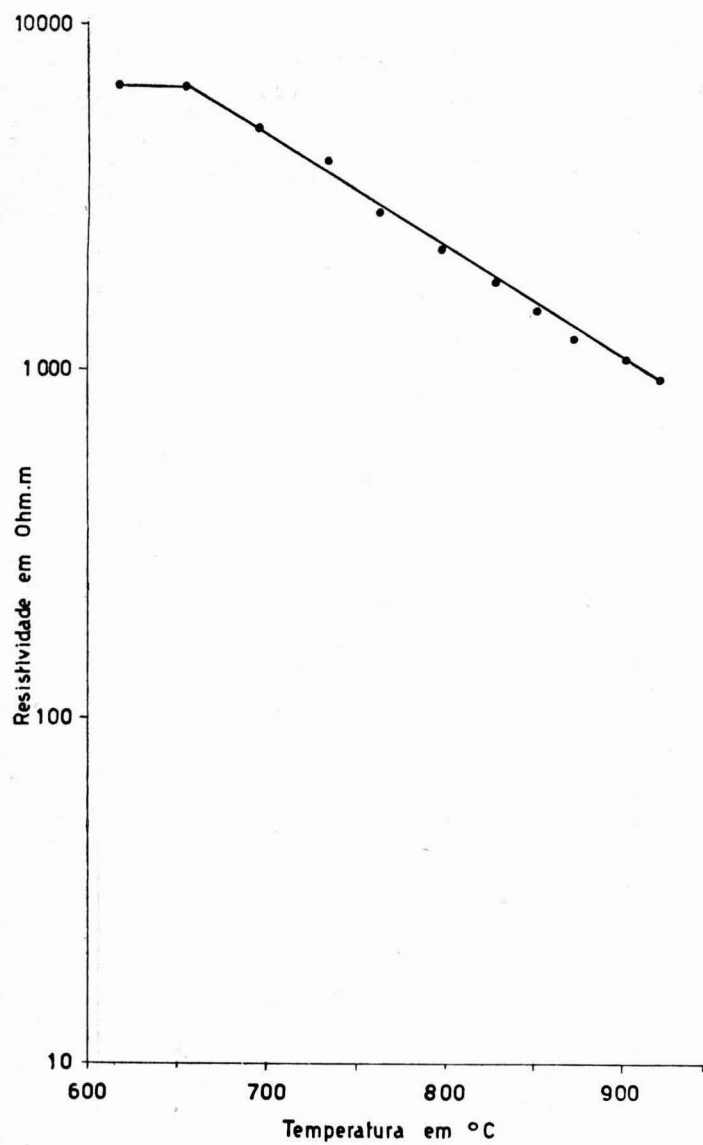


Fig. 1c — Variação da resistividade elétrica com a temperatura para o quartzo.

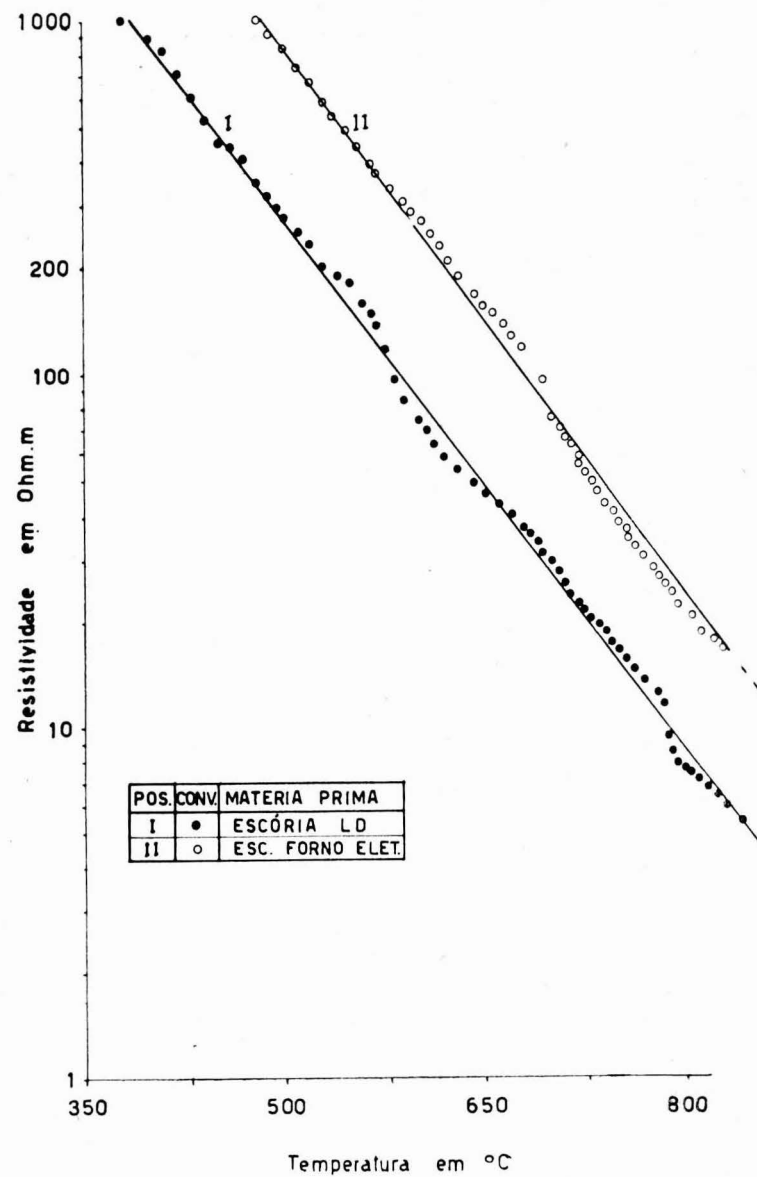


Fig. 1d — Resistividade elétrica das escórias dos conversores LD e fornos elétricos em função da temperatura.

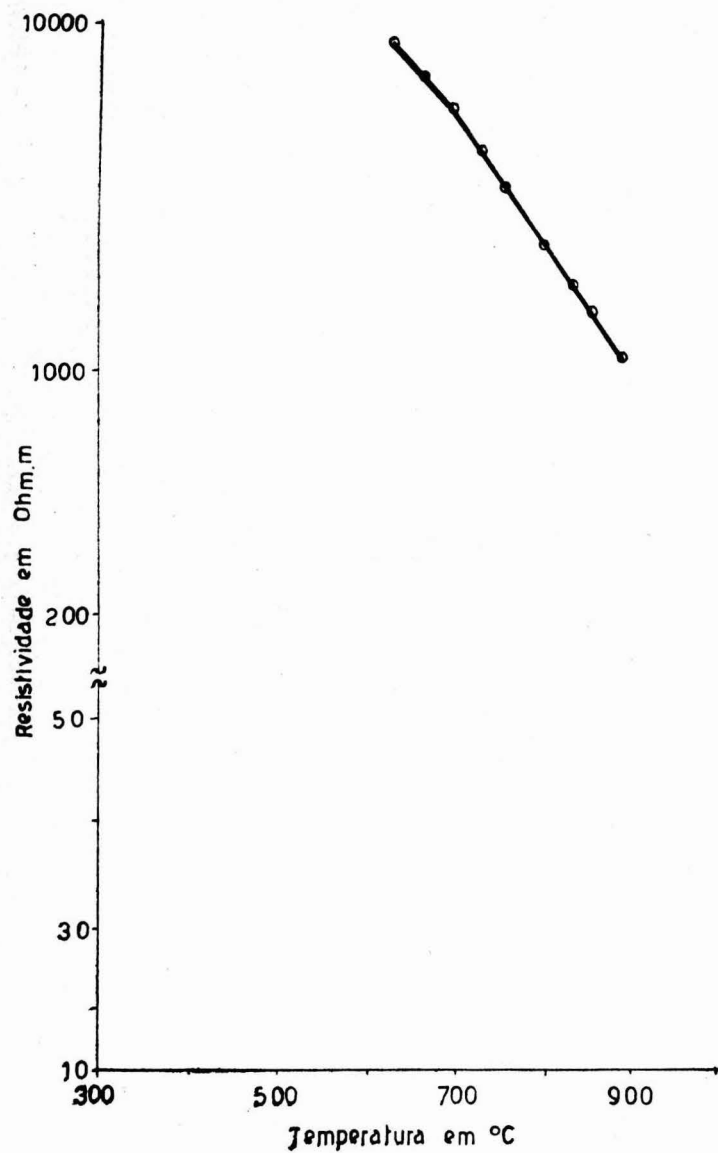


Fig. 1e — Resistividade elétrica de escória dos baixos-fornos em função da temperatura.

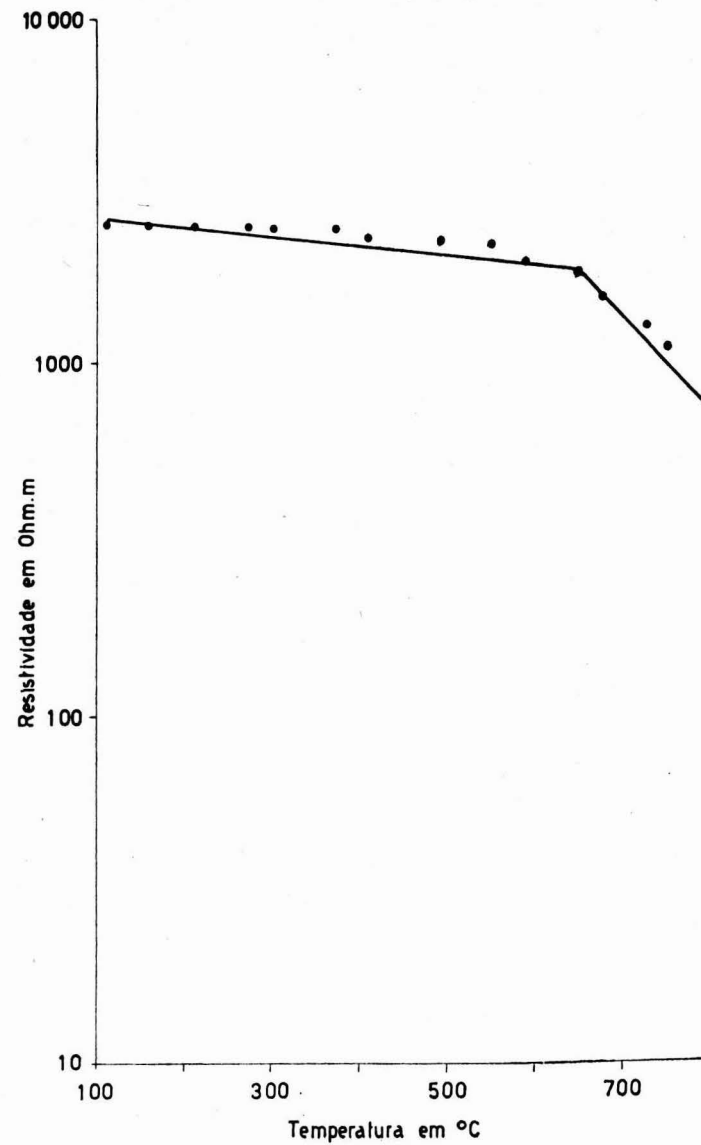


Fig. 1f — Resistividade elétrica da escória do ferro manganês em função da temperatura.

sensível em vista do volume total da carga, e poderia ser, em parte, compensada pelo menor carregamento de redutor.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

A figura 2 nos mostra, comparativamente, o resumo do balanço térmico nas várias hipóteses, e a tabela II, o resultado completo dos cálculos e determinações gráficas.

No resumo gráfico dos balanços térmicos (fig. 2) não constam as porcentagens dos calores introduzidos pela carga e reações exotérmicas de formação de alguns compostos (gusa e escória e outros) e, o calor das poeiras, por se tratar de parcelas relativamente pequenas, tendo em vista a quantidade total de calor envolvida.

#### 5. DISCUSSÃO

Dos resultados obtidos, facilmente depreende-se que a obtenção de índices operacionais satisfatórios está em grande parte condicionada à eliminação do carregamento de fundentes sob a forma de carbonatos. O uso de calcário ou dolomito é prejudicial, não só pela grande quantidade

de de calor necessária para sua calcinação, como também por implicar na diminuição do potencial redutor em CO do gás. Isto resulta no aumento da redução direta e, conseqüentemente, mais carbono e energia elétrica serão necessários por tonelada de gusa.

De um modo geral, a economia de energia resultante da substituição de fundentes carbonatos e quartzo, em parte ou totalmente, por escórias da aciaria, baixos fornos e da fabricação de ferro manganês é obtida principalmente por:

- diminuição das reações de calcinação dos carbonatos (39%);
- melhoria da redução indireta (20%);
- redução de parte do manganês e do ferro partindo-se do MnO e FeO ao invés de MnO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nos minérios (7%);
- diminuição no volume de gás e, conseqüentemente, da parcela calor sensível do gás (4%);
- diminuição relativa das perdas térmicas pelo aumento da produção (30%).

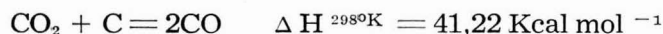
Além disto, a diminuição de carbonatos na carga reduz a possibilidade de absorção de par-

B.T. 1- S/ ESCORIAS		B.T. 2- C/100 ESC. FE		B.T. 3- C/100 ESC. B.F.		B.T. 4- C/50 ESC. FeMn		B.T. 5- S/CARBONATOS	
C A L O R		C A L O R		C A L O R		C A L O R		C A L O R	
F. 2890kcal	A. 2890kcal	F. 2870kcal	A. 2870kcal	F. 2890 kcal	A. 2890kcal	F. 2930 kcal	A. 2930 kcal	F. 2570kcal	A. 2570kcal
oxidação do carbono e hidrogênio	calc. carb. 6,70 %	oxidação do carbono e hidrogênio	calc. carb. 5,50 %	oxidação do carbono e hidrogênio	calc. carb. 5,40 %	oxidação do carbono e hidrogênio	calc. carb. 6,60 %	oxidação do carbono e hidrogênio	
26,80 %	dissociação	28,65 %	dissociação	28,60 %	dissociação	27,40	dissociação	35,00 %	dissociação
	dos		dos		dos		dos		dos
	óxidos		óxidos		óxidos		óxidos		óxidos
energia elétrica	58,40 %	energia elétrica	59,75 %	energia elétrica	60,15 %	energia elétrica	58,85 %	energia elétrica	66,30 %
69,85 %	gusa escória gás	68,35 %	gusa escória gás	68,40 %	gusa escória gás	69,30 %	gusa escória gás	63,70 %	gusa escória gás
	21,10 %		21,70 %		21,40 %		21,10 %		23,70 %
	perdas		perdas		perdas		perdas		perdas
	13,80 %		13,05 %		13,05 %		13,45 %		10,00 %

F. FORNECIDO  
A. ABSORVIDO

Fig. 2 - Resumo dos Balanços Térmicos.

te do carbono da carga pelo CO<sub>2</sub>, segundo reação fortemente endotérmica, cuja equação é:



Isto poderia ocorrer particularmente quando o desprendimento de CO<sub>2</sub> ocorresse no limite superior da faixa de temperatura (700°C — 900°C) de dissociação dos carbonatos.

muito embora isto ocorra com a parcela calcinação dos carbonatos. Tal fato prende-se às variações das parcelas de energia resultante da oxidação do carbono e do hidrogênio e, das perdas térmicas relativas.

A tabela III nos mostra comparativamente a diferença dos resultados obtidos, por tonelada de gusa, quando se toma por referência a carga 1.

TABELA II — Dados previstos para operação dos baixos fornos com recirculação de escórias.

Discriminação	Unidade	Granulometria	1 c/carbonatos	2 100 kg-Esc. AC	3 100 kg-Esc. BF	4 50 kg-Esc. Fe-Mn	5 s/carbonatos
Hematita .....	kg/t gusa	19 - 38 mm	1390	1370	1390	1400	1370
Minério de Mn .....	"	"	40	30	40	—	—
Calcário .....	"	15 - 40 mm	360	290	280	340	—
Dolomito .....	"	"	140	100	110	140	—
Quartzo .....	"	"	190	170	150	180	—
Escória de Aciaria .....	"	"	—	100	—	—	150
Escória dos B.F. ....	"	"	—	—	100	—	340
Escória do Fe-Mn .....	"	"	—	—	—	50	20
Carvão Vegetal .....	"	15 - 50 mm	550	510	520	540	480
Carbão Fixo .....	"	—	350	330	335	345	307
Eletrodos .....	"	—	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Energia Elétrica .....	kwh/t	—	2423	2281	2299	2357	1905
Fator de Potência .....	U	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Produção .....	kg/h	—	6210	6597	6545	6384	7899

A tabela II nos mostra que o carbono fixo por tonelada de gusa pode variar em uma ampla faixa, ou seja de 350 a 307 kg como consequência da substituição carbonatos — escória, pelos motivos já expostos.

O consumo de eletrodos por tonelada de gusa foi considerado igual nos cinco casos, porém era de se esperar um menor consumo na última hipótese 7.

Pode-se observar pela tabela II, que o consumo específico de energia, na realidade não varia proporcionalmente ao carregamento de escórias,

TABELA III — Diferença calculada entre cargas com recirculação de escórias e aquela unicamente com carbonatos.

Discriminação	Unidade	1 — 2	1 — 3	1 — 4	1 — 5
Hematita .....	kg/tgusa	+ 20	—	- 10	+ 20
Minério de Mn ...	"	+ 10	—	+ 40	+ 40
Calcário .....	"	+ 70	+ 80	+ 20	+ 360
Dolomito .....	"	+ 40	+ 30	—	+ 140
Quartzo .....	"	+ 20	+ 40	+ 10	+ 190
Escória de Aciaria ..	"	-100	—	—	- 150
Escória dos B.F. ..	"	—	+100	—	- 340
Escória do Fe-Mn ..	"	—	—	- 50	- 20
Carvão Vegetal ..	"	+ 40	+ 30	+ 10	+ 70
Energia Elétrica .	kWh/t	+142	+124	+ 66	+ 518
Produção .....	kg/h	-387	-335	-174	-1689

(+) indica consumos para mais quando da utilização da carga unicamente com fundentes carbonatos. O sinal (-) indica situação inversa.

Na colunas 1-2, 1-3 e 1-4, pode-se observar a variação dos resultados quando se substitui fundentes carbonatos e quartzo por 100 kg de escória da aciaria, 100 kg de escória dos baixos fornos e 50 kg de escória da fabricação de ferro manganês, respectivamente. A diferença no consumo específico de energia da carga 1 para a 5 foi de 518 kWh, podendo-se portanto inferir que nas nossas condições, para produção de uma tonelada de gusa com 500 kg de escória, o carregamento de 100 kg de escória em substituição a calcário, dolomito e quartzo, possibilita uma economia média de 100 kWh.

Partindo-se dos dados fornecidos pela tabela III, fácil se torna calcular a diferença nos custos de uma tonelada de gusa para cada caso, em comparação com o da carga 1.

A tabela IV nos mostra a produção comparativa quando se toma a da carga 1 como referência e igual a um. O aumento total de produção, conseguido com a recirculação de escórias é, portanto, em torno de 27%. O aumento

TABELA IV — Produção comparativa das cargas estudadas.

Discriminação	Carga				
	1	2	3	4	5
Produção .....	1,0	1,06	1,05	1,03	1,27

parcial médio resulta igual a 5,3% para cada 100 kg de escória carregada.

Naturalmente êstes valores são válidos para 500 kg de escória por tonelada de gusa e, obviamente, poderiam variar quando assim ocorresse com a quantidade de escória produzida.

Com o carregamento de escória, poderiam surgir as seguintes dificuldades:

a) aumento do teor de P no gusa quando se utilizasse escória dos conversores LD;

b) aumento do teor de S no gusa ou necessidade de aumento do volume de escória e da basicidade quando a quantidade de enxôfre já carregada estivesse próxima do limite tolerável;

c) variações constantes nos teores de  $Al_2O_3$ , CaO e  $SiO_2$ , que poderiam ocasionar mudança nas características da escória produzida;

d) variações nos teores de Fe e Mn e, conseqüentemente, na quantidade necessária de carbono fixo e análise do gusa.

A figura 3 nos mostra, nas nossas condições, a variação do teor de P no gusa em função do carregamento de escória da aciaria. Para um teor de P máximo no gusa de 0,180% o carregamento de escória teria que ser limitado em 140 kg por tonelada de gusa. Na CSM procuramos normalmente evitar o carregamento de es-

cória dos conversores LD, uma vez que, o teor P desta é maior do que aquêle da escória dos fornos elétricos da aciaria (tabela I). Na hipótese de ser necessária a utilização unicamente de escória do LD e, se o teor em P do gusa e daquela escória elevarem-se a um valor prejudicial, será indispensável a interrupção da recirculação, por um ou dois dias, para que seja baixado o teor de P a um nível aceitável.

O enxôfre somente poderia ser um problema quando sua quantidade na carga estivesse próxima de um valor crítico, ou seja, para as condições vigentes, o enxôfre no gusa se aproximasse do valor máximo tolerável admitido pela especificação.

Chipman<sup>8</sup> determinou o equilíbrio do enxôfre entre escórias e o metal em uma atmosfera de CO puro e 1 atmosfera de pressão, a 1425°C e 1500°C, tendo tirado uma série de conclusões entre as quais destacamos:

1) o índice de dessulfuração  $\frac{(S)}{[S]}$  para escórias contendo aproximadamente 1,5% de S é controlado pelo excesso de bases;

2) a alumina age como a sílica na redução do poder de dessulfuração de uma escória básica;

3) a concentração de S no metal não é diretamente proporcional ao S na escória;

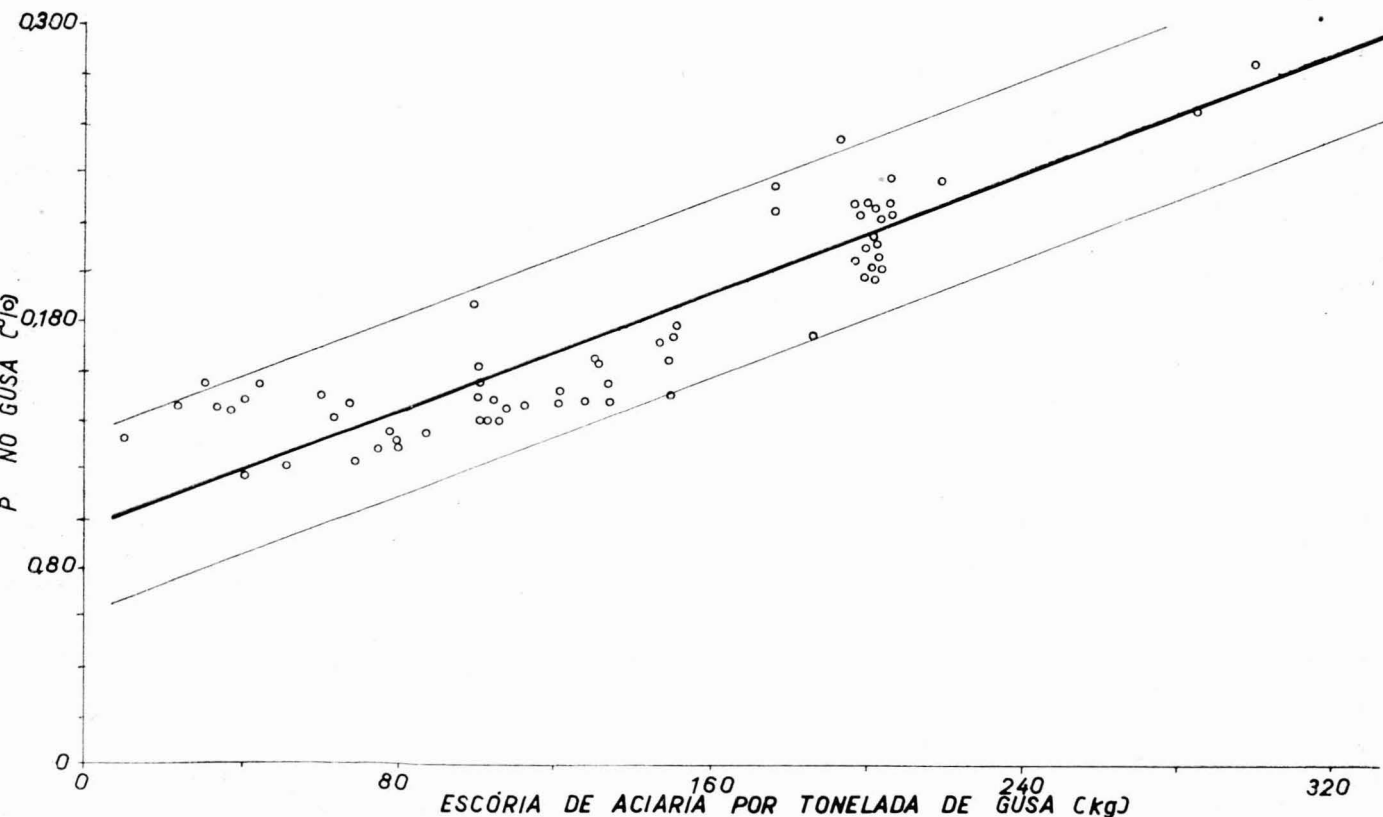


Fig. 3 — Porcentagem do fósforo no gusa em função do carregamento da escória da aciaria.



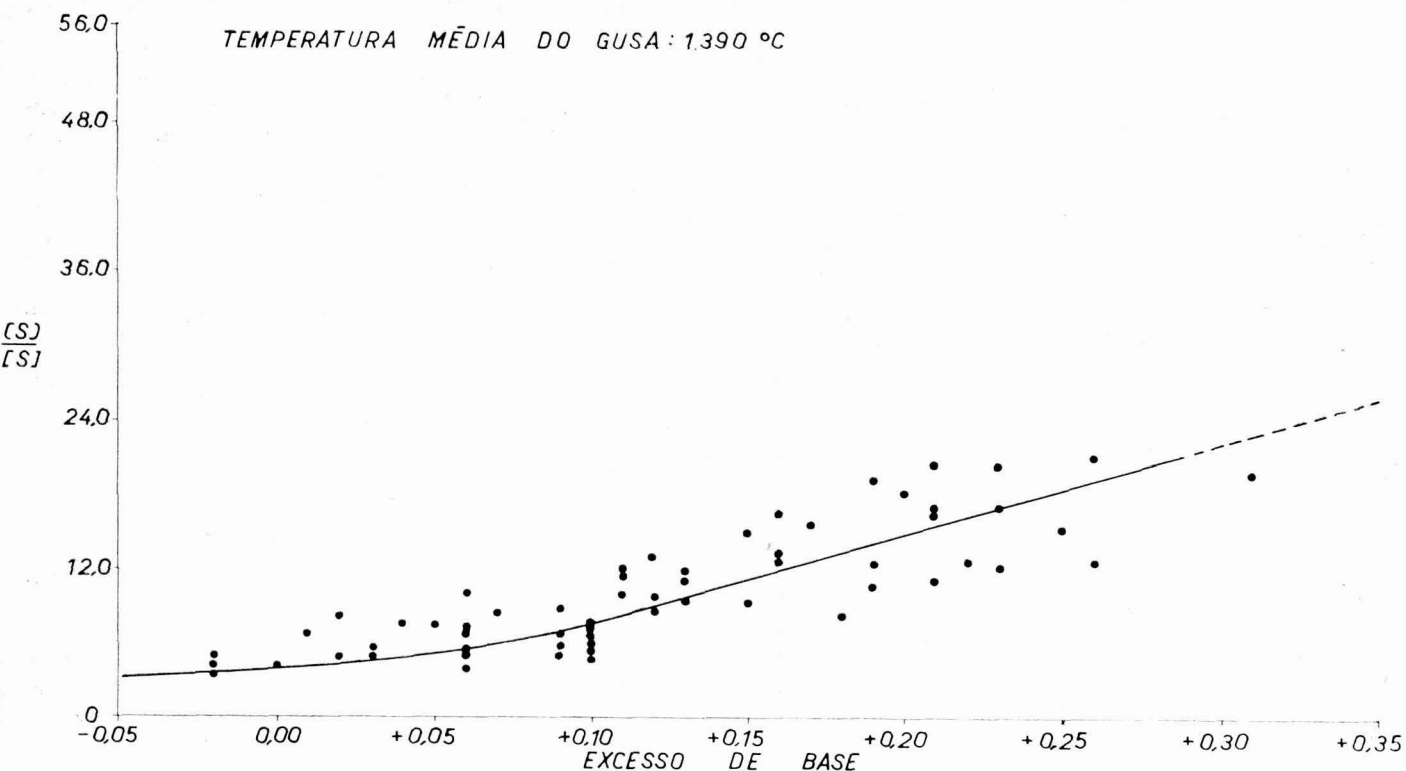


Fig. 4 — Relação de distribuição do enxôfre em função do excesso de base ou ácido — em mols por 100g de escória.

4) a magnésia é somente 2/3 equivalente à cal como agente de dessulfuração numa base molar ou, aproximadamente igual na base de pêsô.

A figura 4 nos mostra nas condições atuais de operação de nossos fornos, a dependência da relação de distribuição do enxôfre com o excesso de base ou ácido em mols por 100 g de escória. Naturalmente, têm influência sobre a dessulfuração, a porcentagem de cada constituinte do gusa, temperatura, teor de CaO na escória, fluidez desta última, etc. Contudo, de um modo geral, o enxôfre no gusa poderia ser diminuído aumentando-se o volume de escória por tonelada de metal ou a basicidade da escória. Nas nossas

condições, utilizando-se como redutor o carvão vegetal (baixo teor de enxôfre) não temos problemas com o enxôfre no gusa, mesmo trabalhando como escória normalmente ácida ( $CaO/SiO_2 = 0,8-1,0$ ).

A variação nos teores de  $Al_2O_3$ , CaO e  $SiO_2$  por efeito da recirculação pode provocar alterações sensíveis nas características das escórias. Para cargas com utilização de somente calcário, dolomito e quartzo além de minério e redutor, isto praticamente não ocorre devido à constância de análise dos citados fundentes. No diagrama ternário  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  a composição acertada da escória produzida estaria dentro de um pe-

TABELA V — Carregamento da escória em função dos teores de CaO,  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$

Matéria prima	Necessidade					
	Aumentar			Diminuir		
	CaO	$SiO_2$	$Al_2O_3$	CaO	$SiO_2$	$Al_2O_3$
Escória Aciaria .....	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)
Escória Baixos Fornos .....	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)
Quartzo .....	(-)	(+)		(+)	(-)	

(+) Aumentar  
 (-) Diminuir

queno círculo com centro no ponto de convergência das porcentagens daqueles óxidos na escória calculada. No caso da recirculação isto não ocorre e, devido às constantes variações na composição das escórias carregadas, particularmente na dos baixos fornos, o ponto de convergência dos teores acertados de  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , na escória produzida, desloca-se continuamente sobre o diagrama ternário. A tabela V nos mostra de longe, como proceder nos casos da necessidade de se aumentar ou diminuir relativamente os teores de  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Verifica-se que há possibilidade da ocorrência de situações contraditórias, principalmente tendo-se em vista a necessidade conjunta de atender-se à especificação em P do gusa e a um pré-fixado volume de escória por tonelada de metal produzido. A simples relação  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  é sem dúvida um ponto de referência porém, em função dos teores de  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a fusibilidade, o ponto de fusão e a viscosidade da escória podem sofrer alterações sensíveis e, também, o desenvolvimento do processo. Para exemplificar o que estamos afirmando, citaremos que para uma mesma basicidade de escória, variações no teor de alumina podem implicar em alterações na composição química do gusa. De um modo geral, os problemas que surgem durante a recirculação são sempre complexos e torna-se imperioso, além dos cuidados normais diários, como por exemplo:

- a) cálculo da carga;
  - b) análise completa das escórias carregadas e produzidas;
  - c) análise e temperatura do gusa;
- o acompanhamento da posição assumida pela escória produzida, no diagrama ternário  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ . Em função dos dados conseguidos, seriam feitas as correções necessárias na carga dos fornos.

Pelo exposto, depreende-se que para manter uma regularidade operacional com a recirculação de escórias é necessária máxima atenção, principalmente no que se refere à composição da escória produzida.

## 6. CONCLUSÕES

Nas nossas condições, para produção de gusa com 500 kg de escória por tonelada de metal, seriam:

1. a recirculação de escórias é fator importantíssimo de aumento da produção dos fornos elétricos de redução, quando utilizada no sentido de substituir parte ou mesmo eliminar da carga os fundentes sob a forma de carbonatos;

2. o carregamento de 100 kg de escória da aciaria, baixos fornos ou da fabricação de ferro manganês por tonelada de gusa, em substituição

a calcário, dolomito e quartzo, implica em média na economia de 100 kWh;

3. a substituição total de calcário, dolomito e quartzo por escórias da aciaria, baixos fornos e da fabricação do ferro manganês provoca um aumento de aproximadamente 27% na produção dos fornos;

4. a economia de energia elétrica resultante da substituição anterior provém de:

- eliminação da calcinação dos carbonatos (39%);
- redução de  $\text{FeO}$  e  $\text{MnO}$  ao invés de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{MnO}_2$  (7%);
- diminuição do calor absorvido pelo gás (4%);
- aumento de redução indireta (20%);
- diminuição relativa das perdas térmicas (30%).

5. o carregamento de escórias em substituição a calcário, dolomito e quartzo possibilita uma diminuição de 40 kg de carbono fixo por tonelada de gusa.

## AGRADECIMENTO

O autor agradece à Diretoria da CSM pela autorização concedida para publicação deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

1. BODSWORTH, C. — Physical Chemistry of Iron and Steel Manufacture.
2. SILVEIRA, RUBENS C. — Características elétricas de algumas matérias primas e cargas para fabricação de ferro gusa em fornos elétricos de redução. *Metalurgia*, v. 23 (1962); n.º 119, p. 733.
3. EMRICH, W. S.; SILVEIRA, R. C.; CAMPOS, V. F. — Alguns fatores que influenciam a operação dos eletrodos Söderberg. *Metalurgia*, vol. 22, n.º 100, mar. 1966, p. 213.
4. SILVEIRA, RUBENS C. — Emprêgo de diferentes tipos de cargas metálicas em fornos elétricos de redução. *Metalurgia*, vol. 25, n.º 139, jun. 1969, p. 437.
5. SILVEIRA, RUBENS C. — Influência do potencial redutor em  $\text{H}_2$  do gás sobre o índice de redução pelo  $\text{H}_2$ . (Não publicado).
6. SCHARLÉ, E. A.; SILVEIRA, R. C. — Balanço térmico de um forno elétrico de redução para a produção de ferro gusa. Neste número de *Metalurgia*, p. 523.
7. COLLIN, F. C. e GRYPING, O. A. — A New Approach in Electric Pig Iron Smelting. Reprinted from *Journal of Metals*. Vol. 8 (1956), n.º 10, p. 3.
8. LÚCIO, A. — Físico-Química Metalúrgica. Vol. III. EE UMG. BH; MG (1964), p. 225.

## DISCUSSÃO

JARDEL B. FERREIRA (1) — Meus cumprimentos ao autor do trabalho, tão interessante e de tão significativo resultado para a economia da operação, quando se tem em vista que uma recirculação de escórias nos propicia um aumento de produção de 27% e ainda, paralelamente, a redução nos custos. A questão da recirculação do ferro e do enxôfre foi tão bem apresentada e controlada no trabalho do Eng.º Silveira, que poderia ser a causa primacial da aplicação da medida, principalmente para aquelas unidades onde não há a sinterização.

MANOEL MENDES MESQUITA (2) — Desejaria saber do Eng.º Corrêa da Silveira se conseguiu determinar as diferenças percentuais na análise do gás, usando os ruidentes normais e depois usando a recirculação de escória nas diversas porcentagens.

RUBENS CORRÊA DA SILVEIRA (3) — Tenho comigo as análises do gases nas hipóteses citadas; a diferença de uma para outra, é principalmente nos teores de CO e CO<sub>2</sub>. Na primeira carga, com fundentes sob a forma de carbonatos, o teor de CO<sub>2</sub> era em torno de 15,87% e o de CO, 65,26%, ao passo que, naquela composta unicamente com escórias, o teor de CO<sub>2</sub> era 12,33% e o de CO, 68,78%. Esses números assumem particular importância se se levar em consideração, que no caso da carga somente com carbonatos, o volume de gás é acentuadamente maior.

A título de informação, os volumes de gás encontrados, foram: 915 Nm<sup>3</sup>/t gusa para a carga somente com carbonatos e 661 Nm<sup>3</sup>/t gusa para aquela unicamente com escórias.

FELIPPE J. V. FRANCESCHINI (4) — Nesses dados apresentados no trabalho, referentes às análises das escórias, parece que seria muito interessante obter também os teores de alcalinos. Uma consequência que não foi enumerada e que talvez pudesse ser acrescida, seria a da influência sobre a vida do revestimento. Aparentemente, ter-se-ia uma condição um pouco mais severa para a vida dos revestimentos com recirculação de escória. Evidentemente que são de tal monta as vantagens com essa recirculação, que o problema teria de ser resolvido pelo refratário e pela tecnologia da sua aplicação e uso. Mas na análise das escórias com e sem recirculação, sob o ponto de vista de alcalinos, seria interessante obter-se dados, e talvez esses dados já existem.

R. C. DA SILVEIRA — A observação do Eng.º Franceschini é bastante oportuna, contudo, deixamos de fazer referência aos teores de álcalis na escória, porque pensávamos em discutir unicamente o problema da produção de gusa em função da recirculação de escórias. No trabalho, "Revestimentos refratários para fornos elétricos de redução" \*, tivemos a oportunidade de dizer que os óxidos alcalinos, encontrados na escória dos fornos de redução da CSM, eram procedentes de duas fontes principalmente: cinzas do carvão vegetal, onde perfazem cerca de 20% e na escória dos próprios fornos, que é recirculada, cerca de 2%. Se este último valor se elevasse a um nível não desejável, a recirculação da escória dos baixos fornos deveria ser suspensa simplesmente, por um ou dois dias. No trabalho antes referido, mostramos que a escória está

em contacto direto com a parede de carbono. Constatamos também, através de amostragem e análise dos blocos, a infiltração local de álcalis sem ter ocorrido a destruição da parede carbônica.

Pelos motivos expostos, deixamos de dar relevância ao problema dos óxidos alcalinos, quando se recircula a escória dos próprios baixos fornos.

J. B. FERREIRA — Tendo sido feita referência, em trabalhos anteriores, a dois assuntos que dizem respeito à Mannesmann e à PETROBRÁS, as duas desejam fazer comunicações a respeito.

A Mannesmann, através do seu Assistente da Diretoria, Eng.º Dietrich Klug, comunica que essa firma adquiriu 500 alqueires de terra para plantio de eucaliptos. Será também incentivado o plantio de todas as áreas pertencentes à CSM e minerações. Espera-se que nestas áreas poder-se-á obter 50% do consumo de carvão vegetal em 1975. No próximo ano, novas áreas serão adquiridas e tornarão possível a produção de todo o carvão vegetal necessário, pois é intenção da CMS utilizar-se, tanto quanto possível, de 100% de carvão vegetal.

Quanto à comunicação da PETROBRÁS, antes de ser feita eu passo a palavra ao Sr. Presidente.

ARTHUR LEVY (5) — Está aqui, entre nós, um técnico da PETROBRÁS, que nos traz comunicação que se juntará àquelas que nos foram apresentadas aqui. De forma que vou pedir-lhe que faça essa breve comunicação. Tem a palavra o Eng.º Antônio Meurer Fernandes Rosa.

ANTÔNIO MEUER FERNANDES ROSA (6) — A PETROBRÁS está com planos em execução para instalar, na Refinaria de Mataripe, unidade de coqueamento para redução, prevista para 600 mil toneladas/ano de coque de petróleo. A PETROBRÁS não tem grande preocupações, no momento, de colocação desse coque, porque ele pode ser usado para fabricação de eletrodos, de pasta Söderberg e se espera que grande parte dêle seja usada no mercado.

Alguma coisa foi trazida aqui, hoje, ou seja, a substituição de redutores na siderurgia pelo coque de petróleo. Há uma solução, já consagrada na siderurgia, que é a mistura pura e simples de coque de petróleo com carvão, que entra nas coquerias. Há trabalho bem feito, por firma estrangeira, que nos dá a perspectiva de aplicação no Brasil de pelo menos 10% de carvão das coquerias. A PETROBRÁS não teria preocupação maior com o mercado, mas está profundamente interessada na associação do coque de petróleo na indústria siderúrgica que usa carvão vegetal, porque acha que daí poderia haver uma colaboração muito interessante entre a indústria de petróleo e a indústria siderúrgica.

O BNDE, agora com o apoio do IBS, programa o uso de coque de petróleo em altos fornos de carvão vegetal. Seria interessante completar com o uso em fornos elétricos.

Acho que há dois incentivos que levam a idéia a exame melhor: o primeiro dêles é que o coque de petróleo que está previsto para Mataripe tem muito baixo teor de enxôfre, menos de 0,25 a 1% de enxôfre, e naturalmente, como todos sabem, o coque de petróleo tem porcentagem de cinza muito baixa, ou, siderúrgi-

(1) Membro da ABM e na Orientação do debate. Engenheiro Civil, de Minas e Metalurgia; Vice-Presidente da ACESITA; Rio de Janeiro, GB.  
 (2) Membro da ABM. Engenheiro Civil; da Cia. de Cimento Portland Maringá; Itapeva, SP.  
 (3) Membro da ABM e autor do trabalho.  
 (4) Membro da ABM. Engenheiro Civil; Livre Docente da Escola Politécnica da USP e Diretor da Cerâmica São Caetano; São Paulo, SP.

(\*) Publicado em METALURGIA, vol. 25, n.º 139, jun. 1969, p. 471.

(5) Presidente da Mesa. General do Exército e Engenheiro Militar; Presidente da ABNT e da SIBRA; Rio de Janeiro, GB.

(6) Membro da ABM. Engenheiro Civil e Eletrotécnico; da Divisão de Indústrias Petroquímicas da PETROBRÁS; Rio de Janeiro, GB.

camente falando, nula. Outro fator que me parece ser um incentivo, embora não possa oficialmente anunciar nada, é o preço. Pelo que tenho ouvido mencionar a respeito de carvão vegetal, poderíamos oferecer coque de petróleo a preço competitivo.

Quanto ao programa de pesquisa e de desenvolvimento, direi que é de patrocínio do BNDE, que proporciona as pesquisas técnicas do Instituto Costa Sena, em Ouro Preto e na PETROBRÁS. Ele está em fase pre-

liminar e cuidou apenas do caso de operação do alto forno que existe em Ouro Preto, o qual precisa ter completada a sua montagem, o que nos permitirá correlacionar os resultados com os altos fornos em operação no Brasil. De modo que a associação do carvão vegetal com o coque de petróleo em alto forno parece já ter programa que nos permitiria conclusões muito interessantes. O que desejo sugerir é que se faça simultaneamente coisa semelhante com fornos elétricos de redução.