

Influência do redutor sobre o consumo específico de energia e produção, na fabricação de gusa em fornos elétricos de redução⁽¹⁾

RUBENS CORRÊA DA SILVEIRA ⁽²⁾

RESUMO

Características elétricas e metalúrgicas do carvão vegetal, carvão mineral e coque. Estudo comparativo destes três redutores. Resultados obtidos através do balanço térmico de três cargas: a) 100% carvão vegetal; b) 100% coque; c) 50% coque e 50% carvão mineral.

1. INTRODUÇÃO

Na fabricação de ferro gusa em fornos elétricos de redução, o redutor empregado exerce importante influência sobre o consumo específico de energia e sobre a produção. Nos países onde é possível a escolha de um redutor entre vários disponíveis, ocorre a necessidade de um estudo completo das suas características elétricas e metalúrgicas, além das condições econômicas, a fim de que se possa fazer uma criteriosa opção, por um ou outro tipo.

No Brasil, as principais alternativas seriam:

- a) carvão mineral;
- b) coque;
- c) carvão vegetal;

ou, então, misturas destes redutores.

Nesta contribuição será feita uma análise primeiramente isolada de cada um daqueles redutores e, posteriormente, de três cargas calculadas com: 100% carvão vegetal; 100% coque; 50% coque mais 50% carvão mineral.

Devido às dificuldades óbvias em se analisar com detalhes todas as hipóteses possíveis, resolvemos escolher as três acima citadas por representarem situações comuns nos fornos elétricos de redução, em nosso país. Estamos certos no entanto, que uma simples extrapolação, dentro de certos limites, permitirá aos mais interessados fazerem uma idéia sobre casos particulares.

2. CARACTERÍSTICAS DOS REDUTORES

Foram considerados no estudo, o carvão mineral de Santa Catarina, tipo baixo volátil, coque da CSN e carvão vegetal da região centro de Minas Gerais.

A tabela I nos mostra a análise química destes redutores.

A faixa granulométrica indicada deveria ser a mais estreita possível e de acordo com os restantes materiais da carga. Por razões elétricas, seria vantajoso adotar uma faixa granulométrica de 10-20 mm para o coque e carvão mineral e 15-50 mm para o carvão vegetal.

Não temos ainda ensaios da reatividade dos redutores em questão porém, COLLIN² nos dá uma relação de valores comparativos encontrados para alguns agentes redutores típicos (fig. 1).

Do ponto de vista operacional, sabe-se que a produção (P) de um forno elétrico de redução

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

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

TABELA I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS REDUTORES ENSAIADOS (EM %)		C	S _t	MV	CINZA	MnO	P	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	
1a	CARVÃO VEGETAL	70,89	0,064	25,77	3,33											
b	CINZA					1,48	2,000	1,099	10,90	13,38	2,45	34,72	14,13			
2a	COQUE CSN	80,05	0,985	2,99	15,97											
b	CINZA					0,38	0,180	0,687	51,20	28,84	11,97	12,04	1,09			
3a	CARVÃO MINERAL	59,34	2,213	13,40	25,05											
b	CINZA					0,88	0,080	0,695	52,90	28,84	9,08	1,40	3,62			
4a	ANTRACITO	75,80	0,763	6,80	16,64											
b	CINZA					0,13	0,200	0,835	52,90	28,42	8,27	2,72	0,36	1,78	2,62	
5a	BRIQUETE	67,12	0,832	9,93	22,12											
b	CINZA					1,17	0,360	0,633	39,60	16,72	28,63	6,02	1,38			

está ligada ao fator de potência ($\cos \Phi$) e ao consumo específico de energia (A) pela expressão:

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

onde K é uma constante. Entre várias cargas que nos conduzem a um dado valor de A, aquela que possuir maior resistividade elétrica, em condições idênticas, irá possibilitar uma maior produção¹.

As figuras 2a e 2b, nos mostram a dependência da resistividade elétrica com a tempera-

tura para o coque, briquete de fino de coque, antracito, carvão mineral (baixo volátil) e carvão vegetal. Depreende-se que, na ordem de citação dos redutores, para uma dada temperatura, a resistividade elétrica cresce.

A figura 3 nos mostra a dependência da resistividade elétrica com a temperatura, para o carvão vegetal, em três faixas granulométricas diferentes. Observa-se que a resistividade elétrica, para uma dada temperatura, aumenta com a diminuição do tamanho da partícula.

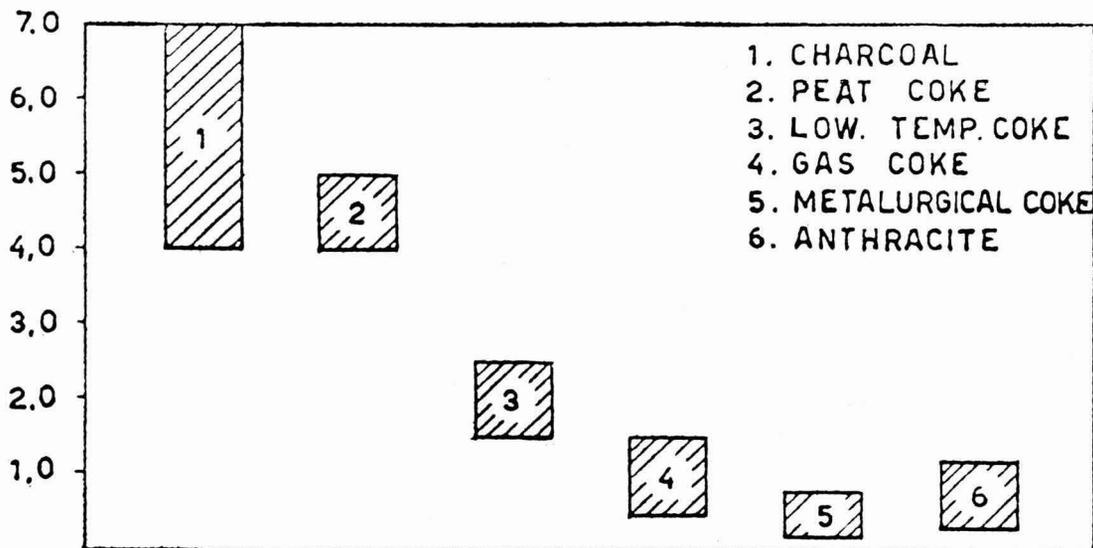


Fig. 1 — Reatividade comparativa de alguns reagentes redutores.
(Baseado nos dados originais da F. C. Collin "Features from the development of electric pig iron smelting" — 1953).

3. MÉTODO DE COMPARAÇÃO

Foram calculadas três cargas para produção de 1 t de gusa, sendo:

- 1) 100% de carvão vegetal;
- 2) 100% de coque;
- 3) 50% de carvão mineral mais 50% de coque.

Para isto foram fixados:

- a) nos três casos, volume padrão de escória igual a 700 kg/t de gusa, o carregamento de 80 kg de escória de aciaria e a composição química do gusa;
- b) relação CaO/SiO_2 de acordo com a quantidade de enxofre carregada;
- c) carbono fixo por tonelada de gusa, em função do tipo de redutor³ (leitura em gráfico).

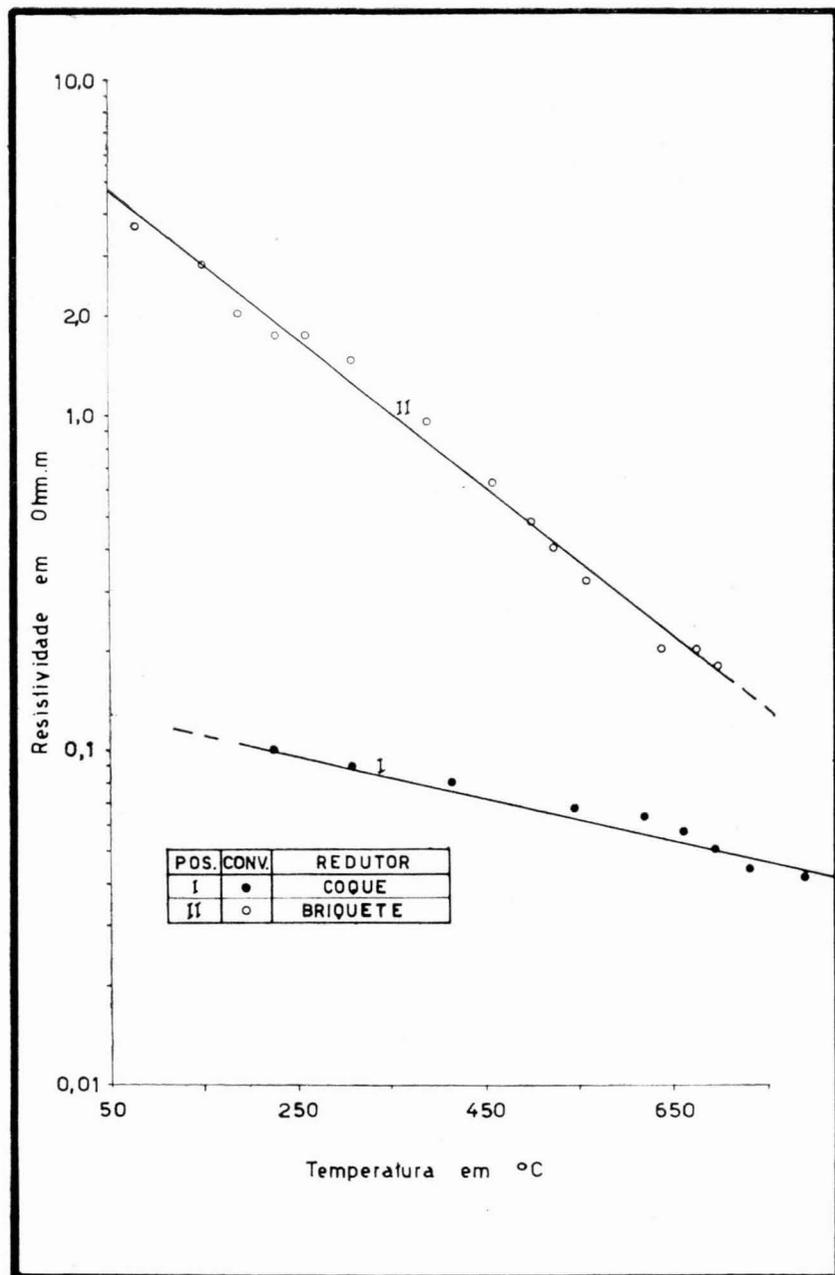
Uma vez calculadas estas cargas foram determinados os índices de redução indireta pelo CO e H_2 ^{4, 5} (leitura em gráfico), em função do potencial redutor em CO e H_2 do gás e da velocidade descendente provável da carga.

O volume e a composição do gás final em cada caso, foram encontrados pelo cálculo, e a sua temperatura considerada como variando no sentido da temperatura gusa-escória, inferida do diagrama ternário $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$.

Com estes dados, foram finalmente estabelecidos três balanços térmicos para as cargas de 1, 2 e 3, resultando daí, o consumo específico de energia nas três hipóteses.

Os valores das porcentagens de perdas térmicas foram obtidos partindo-se de valores das produções prováveis⁸ (leitura em gráfico).

Os consumos de pasta Söderberg por tonelada de gusa, foram obtidos também grãficamen-



Paulo Roberto-67

Fig. 2a — Resistividade elétrica do coque e do briquete de fino de coque em função da temperatura.

te, levando-se em consideração os valores do carbono fixo por tonelada de gusa e o redutor empregado⁷.

O valor numérico do fator de potência, para cada caso, foi estabelecido partindo-se de consideração da relação CaO/SiO_2 ⁴ (gráfico) e dos valores da resistividade elétrica em função da

temperatura dos redutores considerados (figs. 2a e 2b).

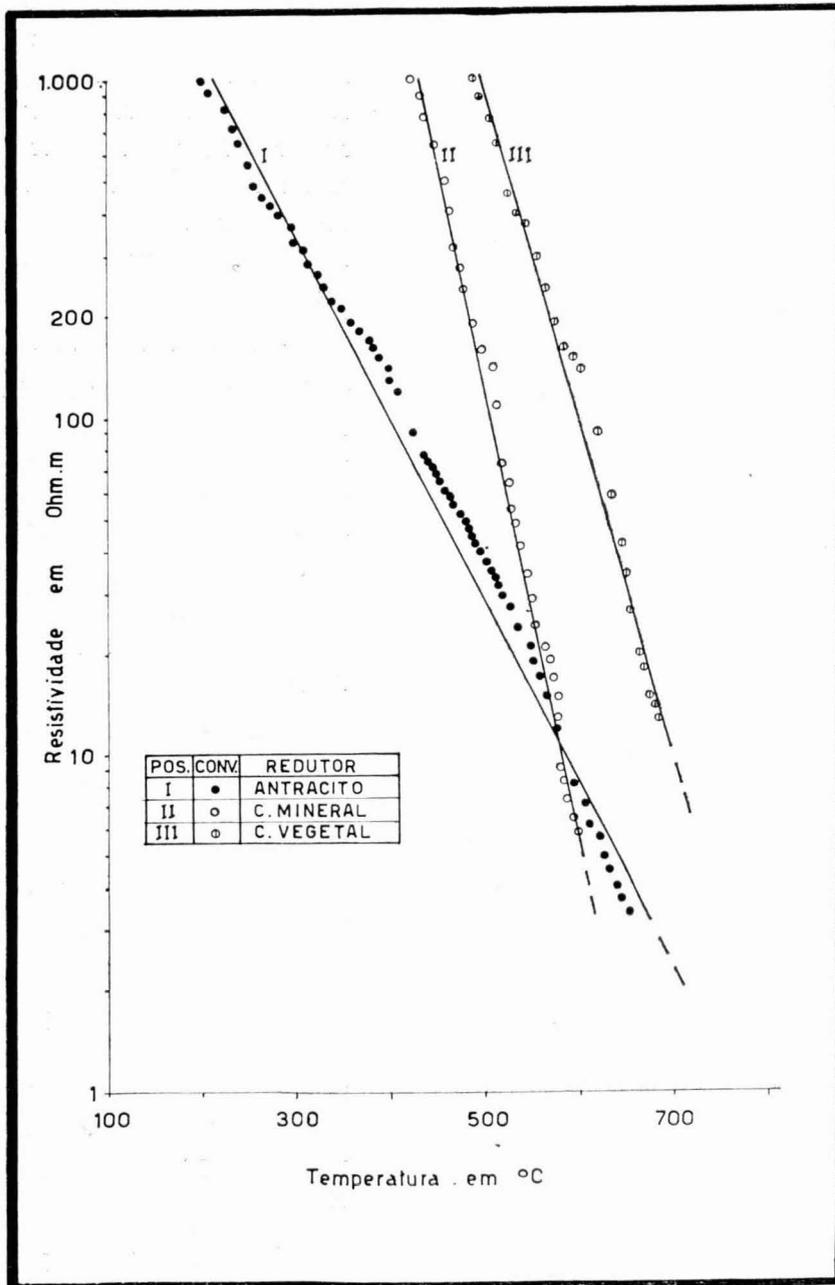
4. RESULTADOS OBTIDOS

A figura 4 nos mostra, comparativamente, o resumo dos balanços térmicos, e a tabela II, o resultado completo dos cálculos e determinações gráficas.

5. DISCUSSÃO

A observação da figura 4 nos permite deduzir que, sob o ponto de vista do balanço térmico, a necessidade de se trabalhar com escória mais básica, devido ao maior teor em enxôfre do redutor, implica em um consumo aproximado de 160 kWh/t de gusa, unicamente para calcinação dos carbonatos, no caso de se utilizar 50% de coque com 50% de carvão mineral. Para a hipótese de somente usar coque este valor cai para aproximadamente 130 kWh/t de gusa. Por outro lado, a necessidade do aumento da relação CaO/SiO_2 para obter-se uma melhor dessulfuração ocasiona, dentro de certos limites, um decréscimo no fator de potência, em cerca de 10% para cada 0,2 de aumento daquela relação⁴.

A soma dos calores do gusa, escória e gás, difere muito pouco nos três casos (30-80 kWh/t gusa). Quando se utiliza coque e coque com carvão mineral, as entalpias do gusa e escória são superiores àquela calculada no caso de somente se utilizar carvão vegetal como redutor.



paulo roberlo-67

Fig. 2b — Resistividade elétrica do antracito, carvão mineral antracitoso e carvão vegetal em função da temperatura.

Nesta última hipótese, o volume de gás nas condições normais será maior do que nos dois primeiros e, portanto, a respectiva quantidade de calor absorvida.

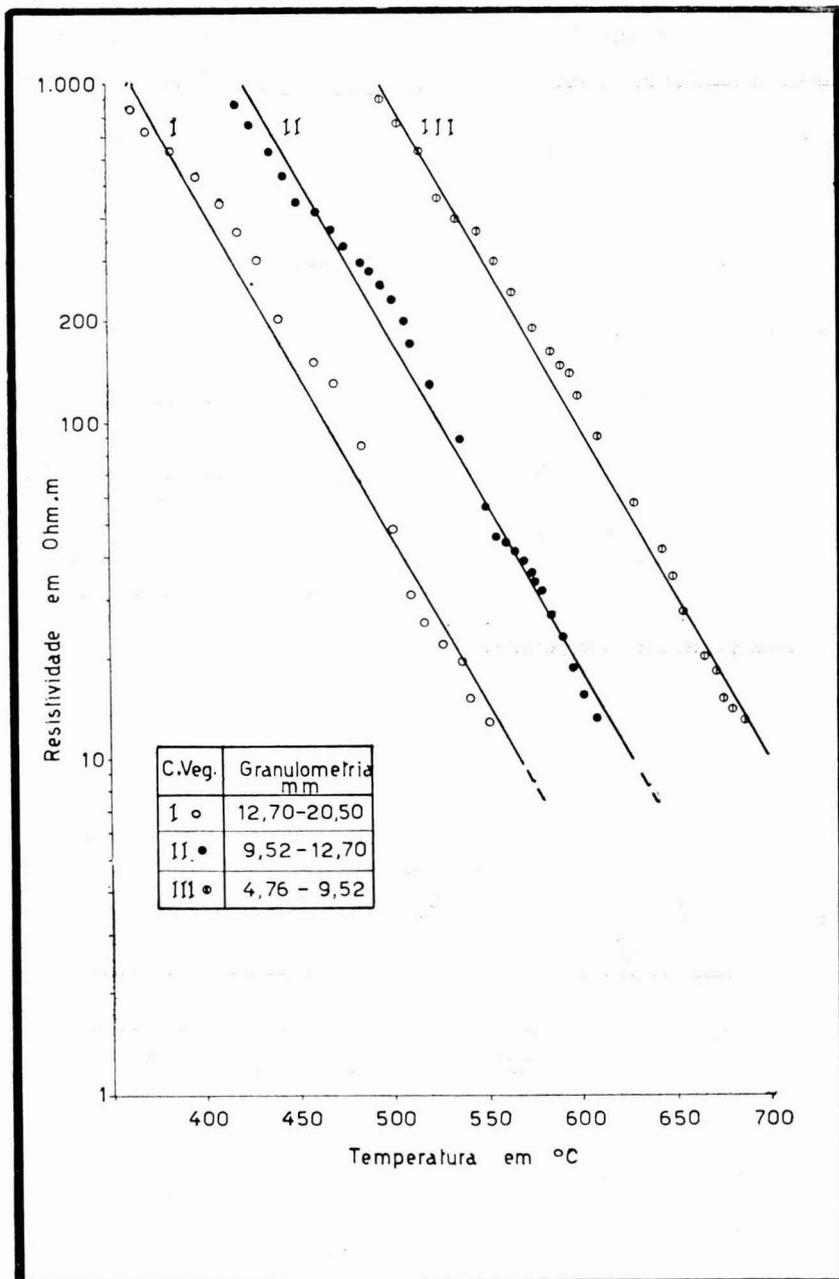
O carregamento de carbonatos diminui o potencial redutor do gás e, conseqüentemente, o índice de redução indireta, porém, uma diminuição na velocidade descendente da carga pode com-

pensar em parte, o efeito daquele decréscimo. Observa-se apenas uma pequena diferença na parcela de energia fornecida pela oxidação do carbono e hidrogênio (cêrca de 40 kWh/t gusa).

A diminuição do fator de potência como conseqüência da substituição de carvão vegetal por coque ou mistura coque mais carvão mineral, por si só já provocaria uma diminuição superior a 10% na produção por hora, ou seja, na velocidade descendente da carga⁴. Isto ocasiona, nas nossas condições uma diferença bastante sensível nas perdas térmicas, que é de 110 kWh/t gusa quando se substitue carvão vegetal pela mistura carvão mineral mais coque e de 170 kWh/t de gusa quando unicamente por coque.

A tabela II, estabelecida com base na expressão (1), nos mostra a correlação existente entre as diversas produções calculadas, quando se toma a da carga 2 como referência e igual a 1.

Com vistas ao exposto, sem considerar o fator econômico, o carvão vegetal seria o redutor mais indicado quando se desejasse maior produtividade, equivale dizer, maior produção com um menor consumo específico de energia. Se a alternativa fôsse coque ou carvão mineral, poder-se-ia optar por coque se o objetivo principal fôsse baixo consumo específico de energia elétrica e pela mistura coque com carvão mineral na hipótese de se desejar maior produção. Tomando-se por base os dados fornecidos pela tabela III, será fácil o cálculo do custo em cada caso particular e na maioria das vezes êle será o fator decisivo.



Paulo Roberto-67

Fig. 3 — Comparação entre as resistividades elétricas, em função de temperatura, de carvão vegetal, em três granulometrias.

RESUMO DO BALANÇO TÉRMICO REDUTOR: CARVÃO VEGETAL		RESUMO DO BALANÇO TÉRMICO REDUTOR: COQUE		RESUMO DO BALANÇO TÉRMICO REDUTOR: 50% C. MINERAL-50%COQUE	
C A L O R		C A L O R		C A L O R	
FORNEC. 2.610.000 Kcal	ABSORV. 2.610.000 Kcal	FORNEC. 2.845.000 Kcal	ABSORV. 2.845.000 Kcal	FORNEC. 2.900.000 Kcal	ABSORV. 2.900.000 Kcal
OXIDAÇÃO DO CARBONO E HIDROGÊNIO. 33,5 %	DISSOCIAÇÃO DO ÓXIDO E FOSFATO 65,5 %	OXIDAÇÃO DO CARBONO E HIDROGÊNIO 29,6 %	DISSOCIAÇÃO DO ÓXIDO E FOSFATO 59,7 %	OXIDAÇÃO DO CARBONO E HIDROGÊNIO. 28,3%	DISSOCIAÇÃO DO ÓXIDO E FOSFATO 58,4 %
ENERGIA ELÉTRICA 65,0 %		ENERGIA ELÉTRICA 69,2 %		ENERGIA ELÉTRICA 70,0 %	
	GUSA 11,0 %		GUSA 10,5 %		GUSA 11,0 %
	ESCÓRIA 9,5 %		ESCÓRIA 8,5 %		ESCÓRIA 10,2 %
	GÁS 5,0 %		GÁS 3,4 %		GÁS 3,6 %
	PERDAS 9,0 %		PERDAS 14,0 %		PERDAS 12,0 %
			CALCIN. CARBON. 3,9%		CALCIN. CARBON. 4,8%

Fig. 4 — Balanço térmico comparativo.

TABELA II - COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO REDUTOR		
REDUTOR	PRODUÇÃO	
	+ REAL-FORNO 17100KVA	COMPARATIVA
COQUE	5,8 t/h	1,000
COQUE + C. MINERAL	6,2 "	1,066
CARVÃO VEGETAL	8,1 "	1,385

* Calculada com 10% de sobrecarga nos transformadores.

TABELA III - Dados previstos para operação dos Baixos Fornos com diferentes tipos de redutores

Discriminação	Unidade	1		2		3	
		c/c. vegetal	granul.	c/ coque	granul.	c/coque +c.Min.	granul.
Hematita	kg/tgusa	1380	19-38mm	1360	19-38mm	1350	19-38mm
Calcário	"	-	-	270	15-40mm	340	15-40mm
Quartzo	"	20	15-40mm	70	"	70	"
Escória da AC	"	80	"	80	"	80	"
Escória dos BF	"	570	"	360	"	290	"
Escória Fe-Mn	"	50	"	30	"	30	"
Carvão Vegetal	"	480	15-50mm	-	-	-	-
Coque	"	-	-	450	10-20mm	210	10-20mm
Carvão Mineral	"	-	-	-	-	290	"
Eletrodos	"	3,0	-	20,0	-	12,0	"
Energia Elétrica	kWh/t	1980	-	2290	-	2360	"
Fator de Potência	-	0,85	-	0,71	-	0,78	"

6. CONCLUSÕES

Na fabricação de ferro gusa em fornos elétricos de redução tem-se:

1. o consumo específico de energia cresce quando se troca carvão vegetal por coque e, também, quando se troca coque por mistura coque mais carvão mineral;

2. a produção decresce quando se troca carvão vegetal por mistura coque mais carvão mineral e, também, quando se troca esta mistura por coque.

AGRADECIMENTO

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

BIBLIOGRAFIA

1. SILVEIRA, Rubens C. da — Características elétricas de algumas matérias primas e cargas para fabricação de ferro gusa em fornos elétricos de redução — METALURGIA, vol. 23, n.º 119, p. 733, 1967.
2. COLLIN, F. C. — Features from the development of electric pig iron smelting — Reprinted from III Congress International d'Electrothermie, p. 8, Paris, 18-23, mai 1953.
3. EMRICH, W. S.; SILVEIRA, R. C. da & CAMPOS, V. F. — A Produção dos Fornos Elétricos de redução — METALURGIA, vol. 21, n.º 97, nov. 1965, p. 871.

4. SILVEIRA, Rubens C. da — Emprêgo de diferentes tipos de cargas metálicas em fornos elétricos de redução — Apresentado ao XXIII C. A. (1968) — A ser publicado.
5. SILVEIRA, Rubens C. da — Influência do potencial reductor em hidrogênio do gás sobre o índice de redução pelo hidrogênio — Estudo não publicado, 1968.
6. SCHARLÉ, E. A. & SILVEIRA, R. C. da — Balanço térmico de um forno elétrico de redução de ferro gusa — Apresentado ao XXIII C. A. (1968) a ser publicado.
7. EMRICH, W. S.; SILVEIRA, R. C. da & CAMPOS, V. F. — Alguns fatores que influenciam a operação do eletrodo Söenderberg — METALURGIA, vol. 22, n.º 100, marc. 1966, p. 213.

DISCUSSÃO

JARDEL BORGES FERREIRA ⁽¹⁾ — Do ponto de vista econômico, qual a mistura mais recomendável?

RUBENS CORRÊA DA SILVEIRA ⁽²⁾ — Do ponto de vista econômico, quando utilizamos 100% de carvão vegetal, resulta um produto de custo mais baixo. Contudo, o problema pode ser de difícil equacionamento, pois deverá ser levado em consideração a localização da usina, que será então fator determinante. Está presente o Eng.º Manoel Mendes Mesquita, que tem experiência relativamente grande com o emprêgo de carvão mineral baixo volátil, carvão vegetal e coque em seu forno elétrico de redução; no caso particular de sua usina, situada em Itapeva, S. P., a utilização do carvão mineral em substituição ao coque é muito interessante. Talvez ele possa fornecer alguns números.

(1) Membro da ABM e orientador dos debates; Engenheiro Civil, de Minas e Metalurgia; Vice-Presidente da ACE-SITA; Rio de Janeiro, GB.

(2) Membro da ABM e autor do trabalho.

MANOEL MENDES MESQUITA (3) — Temos trabalhado, ultimamente, com 30% de carvão mineral misturado com carvão vegetal. O carvão mineral é do tipo não coqueificável de Santa Catarina, com teor de enxofre relativamente elevado; não temos tido problemas com o uso normal de 30%, e já chegamos a trabalhar com 50% desse carvão, misturado com carvão vegetal, sem maiores problemas do ponto de vista da análise química do gusa. O enxofre, temos sempre procurado situá-lo abaixo de 0,05% e é comum termos, nessa mistura, obtido gusa de 0,03 e de 0,04% de enxofre. Quanto ao preço do carvão mineral de Santa Catarina, posto na nossa usina, fica aproximadamente pelo mesmo preço do carvão vegetal, em torno de NCr\$ 70/t, muito mais econômico do que se usássemos o coque, que custa quase duas vezes e meia esse preço.

R. C. DA SILVEIRA — Em aditamento tenho a dizer que na Companhia Siderúrgica Mannesmann chegamos a utilizar 15% de carvão mineral baixo volátil. Eu disse anteriormente que a localização da usina, seria fator determinante justamente pelo fato do preço do redutor variar de uma maneira irregular, dentro de uma faixa mais ou menos ampla. Em nosso caso particular, o preço do carvão mineral posto em Belo Horizonte era muito próximo do coque, porém, aproximadamente quatro vezes o preço do carvão vegetal. Em comparação com o coque, poder-se-ia dizer que, se o problema fosse unicamente baixo custo, optar-se-ia pelo coque, porém, se fosse maior produção, seria mais vantajoso o carvão mineral. Quanto à limitação do emprêgo do carvão mineral, isto ficaria na dependência única da natureza e quantidade de escória, uma vez que, o teor de enxofre naquele redutor, é relativamente alto. Naturalmente, e quantidade de escória, uma vez que, o teor de enxofre le do teor de enxofre no gusa, pois os volumes usuais de escória são muito superiores àqueles dos altos-fornos. Em nosso trabalho sobre "Recirculação de Escória como fator de aumento de produção de gusa em fornos elétricos de redução" (*) fazemos referência ao problema do enxofre, inclusive com apresentação de um gráfico que possibilita-nos ter uma idéia aproximada do balanceamento *volume de escória-basicidade*, para obter-se uma dada relação (S)/[S].

J. B. FERREIRA — Embora não tenha sido mencionado o fato da utilização de granulometria inferior à apontada no trabalho, vejo que seria de grande interesse o conhecimento de qualquer observação do autor com referência a possível experiência com brinquete de carvão vegetal; se já foi experimentado no forno e, em caso positivo, se houve desintegração no brinquete apresentado no estado cru.

R. C. DA SILVEIRA — A figura 2a nos mostra a dependência da resistividade elétrica com a temperatura para o brinquete de fino de coque. Esta determinação foi feita na época em que a Mannesmann pensava em solucionar o problema dos finos de redutor, que então se acumulavam em seu návio, empregando-os sob a forma de brinquetes, em seus fornos elétricos de redução. Naquela oportunidade, o primeiro entrave residiu na questão do custo. Não tínhamos instalação própria e dirigimo-nos a uma firma particular que se prontificou a retirar os finos em nossa usina, transportá-los às suas instalações, e nos fornecer posteriormente o brinquete pronto. O preço final do produto era próximo àquele do coque e como não apresentava características melhores, principalmente sob o aspecto de resistência mecânica e resistividade elétrica, deixamos de experimentá-

lo. Quanto a brinquete de finos de carvão vegetal, também não foi cogitado na época, pelo mesmo motivo. Nossa opinião particular sobre o brinquete de carvão vegetal é que dificilmente se conseguiria, economicamente, resistência mecânica satisfatória para estes brinquetes, fato que poderia limitar seu emprêgo.

WALTER JOSÉ VON KRÜGER (4) — Por que a Mannesmann não usa exclusivamente o carvão vegetal? Como foram determinadas as resistividades elétricas do antracito, carvão mineral antracitoso e carvão vegetal em função da temperatura?

R. C. DA SILVEIRA — Respondendo à primeira pergunta devo dizer que embora seja este nosso objetivo, não alcançamos ainda um estágio avançado como a Belgo-Mineira, ou a ACESITA no que concerne ao reflorestamento e produção de carvão vegetal. Na realidade, se operássemos com 100% de carvão vegetal sem previsão para consumir outros redutores como o coque ou carvão mineral nacional, estaríamos com a produção de gusa sujeita às oscilações provenientes de um abastecimento irregular de carvão vegetal, particularmente na época das chuvas. Ultimamente, temos operado nossos fornos, com 100% de carvão vegetal.

W. J. VON KRÜGER — Antes de passarmos à segunda pergunta, gostaríamos de saber se o forno da Mannesmann foi dimensionado para operação com carvão vegetal, com coque ou com carvão mineral. Porque se ele foi dimensionado para carvão vegetal, é evidente que os resultados operacionais aí indicados, mostrando as vantagens do carvão vegetal, seriam uma conclusão óbvia. Mas se fosse dimensionado para carvão mineral, os resultados aí talvez não seriam os mesmos, a não ser fazendo modificações nos arranjos dos eletrodos.

R. C. DA SILVEIRA — O forno da Mannesmann foi inicialmente dimensionado para operar com coque.

W. J. VON KRÜGER — Pode-se, pois, chegar à conclusão de que ele não foi bem dimensionado.

R. C. DA SILVEIRA — Não sei ao certo, pois não tenho uma opinião formada com relação ao problema *dimensionamento — matéria prima*. Partindo-se no entanto de seu raciocínio, suponhamos que um forno tenha sido dimensionado para uma dada carga. Poderia perfeitamente suceder, que a carga base não fosse a ideal para o forno, seja por falta de experiência ou de disponibilidade locais de matérias primas, à época do projeto. Nesta hipótese, não seria mais indicado fazer alterações na carga e quando variasse a disponibilidade de matérias primas, ainda que para melhor, não se conseguiria uma operação razoável do forno.

W. J. VON KRÜGER — Operação razoável se conseguiria, mas não a melhor. Quer dizer, um forno dimensionado para determinada matéria-prima, com características definidas, vai operar com eficiência ideal com aquela matéria prima; se esta for modificada, é preciso alterar as dimensões do forno, para readaptá-lo às novas matérias-primas. Parece-me que os resultados melhores obtidos com forno a carvão vegetal teriam sido alcançados por falta de experiência dos construtores, que teriam estabelecido dimensões que, coincidentemente se tornaram melhores para operação com carvão vegetal.

R. C. DA SILVEIRA — Naturalmente, essa sua observação inclui também o caso particular do forno que fosse dimensionado para minério e que passaria depois a utilizar sinter. Seria então negativa essa experiência?

(3) Membro da ABM; Engenheiro Civil; da Cia. de Cimento Portland Maringá; Itapeva, SP.

(*) Apresentado ao Simpósio sobre Eletrosiderurgia; a ser publicado em METALURGIA.

(4) Membro da ABM; Engenheiro Civil, de Minas e Metalurgia; Professor na EFMOP e Consultor da ALUMINAS; Ouro Preto, MG.

W. J. VON KRÜGER — Poderia ser. Se o sinter tem as mesmas qualidades e características de matéria-prima para a qual o forno foi dimensionado originalmente, não há dúvida de que os resultados seriam idênticos. Mas se o sinter tem condições completamente diferentes, posso afirmar, *a priori*, que os resultados seriam maus.

J. B. FERREIRA — Mesmo que o forno fôsse dimensionado para coque, a qualidade desse coque já poderia alterar completamente sua marcha. Basta considerarmos o caso da nossa indústria siderúrgica, em que somos obrigados a usar 40% de carvão nacional, ou mesmo comparar o coque com 100% de carvão nacional com outro de 100% de carvão importado; a escória e outras características de operação do forno iriam modificar-se completamente. De maneira que, acredito, esse dimensionamento ou projeto do forno leva em conta um valor médio.

W. J. VON KRÜGER — Exato. Sob esse ponto de vista não tenho dúvida, porque não se pode calcular para a matéria-prima ideal, mas, para matérias-primas disponíveis na área onde o forno está instalado. Parece-me que coincidentemente houve um erro no sentido de se tornar melhor a operação com carvão vegetal. Aliás, a melhoria da operação com carvão vegetal era de se esperar realmente por outros motivos construtivos que existem no forno da Mannesmann.

R. C. DA SILVEIRA — Em aditamento à observação do Eng.^o Jardel, quero citar por exemplo, o caso particular dos fornos para ferro-ligas. Creio que, mesmo na ALUMINAS deve ter ocorrido, com frequência, o fato de um mesmo forno produzir diversidade de ligas. Ao tempo em que trabalhei na Companhia Siderúrgica Nacional, em sua fábrica de ferro-ligas e posteriormente na FERBASA, aqui na Bahia, em um mesmo forno produzíamos ferro-cromo, ferro-silício de 15, 45, 75 e 90%, e as vezes ferro-manganês como no caso do forno de 2.500 kVA da CSN. No meu modo de ver, é bastante lógico que a diferença entre as diversas cargas citadas é muito maior do que aquela entre uma carga para gusa com coque e outra com carvão vegetal, particularmente levando-se em conta que também naquelas cargas, poder-se-ia variar a qualidade do redutor.

W. J. VON KRÜGER — Mas, mesmo produzindo no mesmo forno vários produtos, deve-se concordar que, para um deles, o forno trabalha muito melhor. Um forno dimensionado para ferro-manganês, por exemplo, não vai produzir com a mesma eficiência ferro-silício com 45 ou 55% e vice-versa. O próprio forno da FERBASA é dimensionado para ferro-silício, preferencialmente; para ferro-manganês trabalharia em piores condições, consumos maiores, produção menor, limitação de potência, uma série de inconvenientes. Gostaria agora de saber como é feita a determinação da resistividade em função da temperatura, porque um fator extremamente importante na determinação dessa resistividade é a pressão exercida entre os componentes, e pode-se ter resultados que variam de um para cem.

R. C. DA SILVEIRA — Certo. Realmente é de muita importância para a validade da lei de variação da resistividade elétrica com a temperatura, a consideração da pressão exercida sobre os componentes. Esta determinação *resistividade — temperatura*, pela Mannesmann, foi parte de outro trabalho nosso, apresentado ao XXII Congresso Anual da ABM (*); nêle é explicado minuciosamente o que foi feito, inclusive o esquema do apa-

relho de medição. Os pontos básicos, para se contornar os maiores inconvenientes seriam: adoção de uma mesma faixa granulométrica e esta a mais estreita possível; para cada matéria-prima manter os diversos materiais sempre sob a mesma pressão; secar previamente o material a ser carregado na estufa. Schenk e colaboradores mediram a resistividade elétrica em função da temperatura, para cargas empregadas na fabricação de ferro-cromo, sob diversas pressões. A finalidade principal era tentar reproduzir as condições encontradas nos fornos elétricos de redução, onde a pressão da carga varia desde o tópo até a zona de fusão. Na Mannesmann, como dissemos, estas determinações foram feitas com pressão constante, uma vez que os valores absolutos em si, das medições, teriam pouco significado. Interessa-nos o valor comparativo. O aparelho de medição é essencialmente uma estufa elétrica, dotada de um compartimento de formato paralelepípedo e de medidas conhecidas, onde é carregado o material a medir nas condições padronizadas. Dois pares termoeletrônicos colocados em níveis diferentes, para se certificar da homogeneidade do aquecimento, permitem a leitura da temperatura a cada instante. O valor da resistência elétrica foi inicialmente medido por um sistema de ponte. Ultimamente, utilizando-se corrente contínua, faz-se leitura da intensidade de corrente, sob tensão constante; o valor da resistividade elétrica é obtido por cálculos. Os resultados das medições são lançados em gráficos cada ponto representando média de 10 leituras.

JOSÉ CORGOSINHO DE CARVALHO FILHO (5)
— Qual a diferença entre o preço do coque e do carvão vegetal, no caso da Mannesmann?

R. C. DA SILVEIRA — Naturalmente, não estou autorizado a falar em questão de custo. Mas, posso dar a seguinte idéia: o coque, atualmente, para nós, é quatro vezes mais caro do que o carvão vegetal.

J. C. DE CARVALHO FILHO — Quer dizer que, quando se diz que o preço do briquete do carvão vegetal seria aproximadamente o preço do coque, isso significa que a briquetagem de carvão vegetal representaria cerca de quatro vezes o preço do coque?

R. C. DA SILVEIRA — Não. Não é a briquetagem em si que representa isso. No caso particular da Mannesmann não tínhamos instalação de briquetagem e procuramos uma firma de fora, distante geograficamente, para fazer isso. Neste caso, o que implicaria muito no custo, seria o transporte. No entanto, se uma firma dispuser de instalação de briquetagem própria, o problema aí será diferente. Mas sobre o assunto não tenho dados.

J. C. DE CARVALHO FILHO — Por que havia essa preocupação da utilização do briquete de carvão?

R. C. DA SILVEIRA — Vizava o aproveitamento de finos, tanto de coque quanto de carvão vegetal, que se acumulavam em nosso pátio. Atualmente, parte dos finos de carvão vegetal são vendidos às firmas produtoras de cimento. Objetivamente, no forno, dependendo naturalmente da qualidade do briquete obtido, poderia até não haver vantagens em seu emprêgo.

MAX ALVIM MACHADO (6) — Quero fazer uma observação sobre a utilização do carvão vegetal e coque no forno de redução, porque na ACESITA começamos unicamente com coque e depois passamos para carvão

(*) *Características Elétricas de Algumas Matérias Primas e Cargas para Fabricação de Ferro Gusa em Fornos Elétricos de Redução*; publicação em METALURGIA, vol. 23 (1963), p. 733 e 969.

(5) Membro da ABM; Engenheiro Civil, de Minas e Metalurgia; Presidente da FERBASA; Salvador, BA.

(6) Membro da ABM; Engenheiro Industrial Metalúrgico; Chefe do Departamento de Gusa da ACESITA; Acesita, MG.

vegetal. Essa observação é que o minério de ferro que usamos normalmente nos fornos de redução, a hematita compacta, é muito rico e muito condutivo. A firma que projetou o forno deve ter levado isso em consideração. Porém, quando usamos o carvão vegetal, notamos uma melhoria enorme na operação do forno. Queria saber se na Mannesmann se têm notado também essa melhoria.

R. C. DA SILVEIRA — Tenho impressão que a melhoria foi na ACESITA, foi na MANNESMANN e será em qualquer forno, ainda que êle tenha sido dimensionamento para coque; com o emprêgo do carvão vegetal, provavelmente se conseguirão sempre melhores resultados. Isto é fatal. A questão do projeto do forno ter sido elaborado com base em uma dada matéria prima, poderia realmente representar um fator negativo à obtenção de bons resultados, quando se alterasse a natureza daquela matéria prima. Contudo, as vantagens inerentes ao uso do carvão vegetal se sobrepõem nitidamente àquelas desvantagens relativas ao projeto e, no final, os resultados serão sempre altamente significativos. O coque, por sí só, dado a seu relativo alto teor de enxôfre, nos obriga a trabalhar com escória básica. Conforme mostramos em outras oportunidades e mais recentemente em um trabalho apresentado ao XXIII Congresso Anual da ABM (*), a elevação da basicidade faz cair drasticamente o fator de potência do forno. A êste fator negativo da utilização do coque acrescenta-se o fator de possuir pequena resistividade elétrica, mesmo a baixas temperatura, relativamente do carvão vegetal. Isto representa igualmente, para uma dada profundidade dos eletrodos, também menor fator de potência. Do que foi dito, podemos inferir que fatores positivos do emprêgo do carvão vegetal, tanto elétricos quanto metalúrgicos, anulam com substanciais vantagens o efeito negativo de seu emprêgo em forno dimensionado para coque. Nosso ponto de vista, comprovado com experiências é que, em qualquer forno elétrico de redução fechado, onde se substitue coque por carvão vegetal, obtêm-se seguramente melhores índices de produtividade, quer êste forno tenha sido ou não dimensionado para carvão vegetal.

M. A. MACHADO — Pudemos observar isso, mesmo mudando o minério de ferro. Quando nós, por experiência, deixamos de usar hematita e passamos a usar canga, que é um minério mais poroso, pudemos notar perfeitamente um aumento da resistividade do forno. Daí, aos poucos, passamos ao uso do carvão vegetal. Quanto ao uso do carvão vegetal, os únicos inconvenientes que êle apresenta são: alto teor de umidade e fragilidade;

também quando se usa carvão vegetal com uma granulometria muito grande, a tendência dêle nos fornos fechados, como são os nossos — os nossos e os da Mannesmann são muito parecidos em que o carvão é rolado à boca do tubo ao pé de eletrodo — é a de atrapalhar em parte a resistividade da carga no forno.

ERNESTO CLÁUDIO DREHMER (7) — O Eng.º Corrêa da Silveira tem alguma experiência ou conhecimento quanto à substituição do carvão vegetal por coque de petróleo, uma vez que a PETROBRÁS está empenhada na implantação de unidades de coqueificação?

R. C. DA SILVEIRA — Para dar uma opinião, seria necessário conhecer as características metalúrgicas e provavelmente elétricas desse coque de petróleo. Em função dessas características como por exemplo, teor de enxôfre, teor de cinza, fragilidade, resistividade elétrica em função da temperatura, etc. é que seria possível prever-se com relativa facilidade qual seria seu comportamento no forno. Não tenho essas características e infelizmente, nada posso adiantar-lhe.

E. C. DREHMER — Nas indústrias que são grandes consumidoras de carvão vegetal, não há nenhuma preocupação de que essa matéria-prima possa vir a faltar, em virtude da redução das reservas florestais?

R. C. DA SILVEIRA — Companhias como a ACESITA, Belgo-Mineira e outras, adotam a política de reflorestamento e produção de carvão vegetal, com uma previsão a longo prazo. Portanto, esta é minha opinião; creio que elas não se preocupam tanto com êsse problema. No caso da Mannesmann, estamos tentando seguir pelo mesmo caminho e iremos assim prosseguir se ainda perdurar, no futuro, o interesse atual pela utilização do carvão vegetal. Particularmente no nosso caso mantemos parte de coque e carvão mineral, na carga ou em estoque, justamente na expectativa de uma eventual crise no abastecimento de carvão vegetal.

J. B. FERREIRA — Ainda com referência à intervenção do Eng.º Drehmer, gostaria apenas de mencionar que no caso do coque de petróleo há um ponto muito importante, que é o da sua reatividade. Quanto à condutibilidade, não estou informado. Com referência ao programa da ACESITA, de utilização de carvão vegetal, como já é do conhecimento de todos, estamos num programa de reflorestamento intensivo. Mas isso não deixa de lado nossas preocupações no sentido de obter um eventual substituto. A empresa vem conduzindo experiências no sentido de obter briquetes de carvão vegetal a ponto de poder ser utilizado num alto-forno. Já é sabido que o briquete cru facilmente se desintegra e, no forno elétrico de redução, provavelmente ter-se-ia essa desintegração havendo uma quantidade de finos que, provavelmente, produziram explosões no forno.

(*) *Razões Elétricas e Metalúrgicas do Emprêgo de Algumas Cargas para a Fabricação de Ferro-Ligas em Fornos Elétricos de Redução*; Publicado em METALURGIA, vol. 25, n.º 136, fev. 1969, p. 167.

(7) Da SIBRA — Siderúrgica Brasileira S. A.; Salvador, BA.