

UM MÉTODO GERAL PARA CÁLCULO DAS CARGAS DE FORNOS DE CHUMBO ⁽¹⁾

THARCISIO D. DE SOUZA SANTOS ⁽²⁾

RESUMO

Nesta contribuição, retoma o autor o tema de trabalho anterior ¹, introduzindo algumas alterações, principalmente as referentes às condições de aplicação das equações desenvolvidas. O método é absolutamente geral, permitindo o cálculo exato das cargas, inclusive quando se considera a contribuição da cinza do redutor empregado, qualquer que êle seja. O método é também aplicável ao cálculo das cargas de fornos de redução de minérios ou sinters de estanho e de cobre, desde que sejam utilizados os índices das escórias para êsses metais. As equações apresentadas (e as suas condições de aplicação) permitem simplificar grandemente o trabalho material de cálculo das cargas.

1. INTRODUÇÃO

O cálculo das cargas dos fornos de redução que empreguem sinters ou minérios de chumbo, visa proporcionar os constituintes de modo a resultar a escória desejada. A solução do problema geral (quaisquer fundentes, de composições quaisquer, e levando em conta a contribuição da cinza do redutor, qualquer que seja êle) foi proposta pelo autor em um trabalho anterior ¹. Nesse trabalho considerara o autor a escória como definida pelas relações entre os teores de sílica e cal e óxido ferroso e cal, extraídos dos dados apresentados em um outro trabalho ², baseado sobretudo no trabalho de Von Schlippenbach, resumido em Prost ³. Posteriormente, um extenso estudo experimental do autor sôbre a fluidez das escórias de chumbo ⁴ mostrou que escórias que apresentavam índices bastante diversos dos daqueles tinham comportamento igual ou superior às de Von Schlippenbach. Em outras palavras, êsse trabalho mostrou fornecerem os dados de fluidez, em função da temperatura e da composição, elementos

(1) Contribuição Técnica n.º 393. Apresentada ao XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Professor Catedrático e Livre-Docente de Metalurgia dos Metais Não-Ferrosos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; Chefe da Seção de Metalurgia Extrativa, Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

de maior valia do que as considerações baseadas em determinadas estequiometrias de constituintes.

Muito embora o processo desenvolvido seja absolutamente geral, podendo ser empregado para as escórias escolhidas pelo critério de fluidez, é conveniente modificá-lo de forma a se poder utilizar mais facilmente os índices que definem a sua composição. Mostrar-se-á que a comparação dos índices do sinter (ou minério) com os da escória escolhida pelo critério de fluidez, permite conhecer de ante-mão quais os fundentes necessários, e assim utilizar diretamente as fórmulas deduzidas sem qualquer outra tentativa.

A comparação dos índices é feita agora de forma bastante mais simples que a proposta anteriormente¹, motivo pelo qual acredita o autor possa o método geral despertar maior interesse de utilização prática.

2. AS EQUAÇÕES PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA GERAL

No caso geral, o sinter (ou minério), bem como os fundentes a serem utilizados, contêm não só os constituintes chamados essenciais (SiO_2 , FeO e CaO) como os acessórios (Al_2O_3 , MgO , ZnO , MnO , K_2O e Na_2O , principalmente). A cinza do redutor vai também passar à escória. Se os fundentes disponíveis fossem puros, seria bastante simples a solução do problema de cálculo da carga, de forma a resultar a escória de composição desejada. Entretanto, como em geral todos os fundentes utilizados na prática nas usinas de chumbo contêm valores recuperáveis (Pb , Ag e por vêzes Au), sendo habitualmente bastante impuros, isto é, contendo teores elevados de óxidos outros que os desejados como fundentes, complica-se bastante a solução do problema.

Nas expressões que se seguem, consideraram-se para o minério ou para o sinter, suas porcentagens de elementos formadores de escória. Sejam s , f , c e r , respectivamente, as porcentagens de SiO_2 , FeO , CaO e RO do sinter ou minério; como RO figuram todos os óxidos considerados anteriormente como acessórios na constituição da escória.

Escolher-se-á uma escória, a mais conveniente do ponto de vista econômico, que apresente fluidez conveniente à temperatura normal de operação do forno. Essa escória terá assim determinada composição, a qual pode ser definida por dois dos três índices: $\alpha = \text{SiO}_2/\text{CaO}$, $\beta = \text{CaO}/\text{FeO}$ e $\gamma = \text{FeO}/\text{SiO}_2$. É fácil mostrar que apenas dois dêesses índices definem a escória, o terceiro sendo superabundante. É também fácil mostrar que $\alpha = \beta^{-1} \cdot \gamma^{-1}$, $\beta = \alpha^{-1} \cdot \gamma^{-1}$ e $\gamma = \alpha^{-1} \cdot \beta^{-1}$. Convém chamar a atenção aqui para o fato de, nos trabalhos anteriores

citados ^{1 e 2}, ter sido adotado como índice β o valor da relação FeO/CaO. Mostrar-se-á que o índice recíproco ($\beta = \text{CaO/FeO}$) é preferível por questão de simetria de campos de composição.

Seja x o pêso de fundente silicoso a ser adicionado ao sinter ou minério para que resulte a escória escolhida; sejam s_q, f_q, c_q e r_q , respectivamente, seus teores de SiO₂, FeO, CaO e RO, expressos em fração da unidade. De forma análoga, seja y o pêso de fundente ferrífero (hematita, limonita ou magnézita) e s_f, f_f, c_f e r_f , respectivamente, seus teores de SiO₂, FeO, CaO e RO. Seja, por fim, z o pêso de fundente calcário e s_c, f_c, c_c e r_c seus teores daqueles óxidos. Seja, finalmente, p o pêso de cinza do redutor, por unidade de massa da carga (sinter mais fundentes necessários) e, de forma análoga, s_p, f_p, c_p e r_p , os teores, ainda em fração da unidade, de SiO₂, FeO, CaO e RO dessa cinza.

Para maior clareza, tabulam-se a seguir os constituintes da carga no caso mais geral e os dados de sua composição:

Pêso kg	Constituinte da carga	SiO ₂	FeO	CaO	RO
100	Sinter	s	f	c	r
x	Fundente silicoso	s_q	f_q	c_q	r_q
y	Fundente ferrífero ...	s_f	f_f	c_f	r_f
z	Fundente calcário ...	s_c	f_c	c_c	r_c
p	Cinza do redutor	s_p	f_p	c_p	r_p

Chamando agora S, F, C e R , respectivamente, os pesos totais de SiO₂, FeO, CaO e RO existentes na carga constituída de 100 kg de sinter, x de fundente silicoso, y de fundente ferrífero, z de fundente calcário e p de cinza do redutor, ter-se-á:

$$\begin{aligned}
 S &= s + s_q x + s_f y + s_c z + s_p p \\
 F &= f + f_q x + f_f y + f_c z + f_p p \\
 C &= c + c_q x + c_f y + c_c z + c_p p \\
 R &= r + r_q x + r_f y + r_c z + r_p p
 \end{aligned}$$

O pêso E de escória correspondente à escória será:

$$E = S + F + C + R$$

e a composição da escória resultante será:

$$(\text{SiO}_2) \% = 100 S/E$$

$$(\text{FeO}) \% = 100 F/E$$

$$(\text{CaO}) \% = 100 C/E$$

$$(\text{RO}) \% = 100 R/E$$

Para o cálculo da carga pode ser abandonado o valor de R (desde que a soma dos constituintes essenciais seja igual ou superior a 80%). Utilizando-se os índices propostos para a escória, pode-se escrever:

$$S = \alpha C$$

$$F = \beta^{-1} \cdot C$$

e nessas condições podem ser escritas as equações da massa de sílica em função da de cal e a da massa de óxido ferroso em função da de cal:

$$\begin{aligned} s + s_q x + s_f y + s_c z + s_p p &= \alpha (c + c_q x + c_f y + c_c z + c_p p) \\ f + f_q x + f_f y + f_c z + f_p p &= \beta^{-1} (c + c_q x + c_f y + c_c z + c_p p) \end{aligned} \quad (3)$$

A massa de cinza de redutor que passa à escória pode ser expressa em função da massa dos constituintes da carga (sinter e fundentes), da proporção de redutor empregado em relação à carga, u , (referida à carga), e do teor de cinza desse redutor, v (em fração da unidade). Chamando-se w ao produto uv ($w = uv$), tem-se $p = w (100 + x + y + z)$.

Substituindo-se p pelo seu valor nas equações (3):

$$\begin{aligned} x [(s_q - \alpha c_q) + w (s_p - \alpha c_p)] + y [(s_f - \alpha c_f) + w (s_p - \\ - \alpha c_p)] + z [s_c - \alpha c_c] + w (s_p - \alpha c_p) &= \\ = \alpha c - s - 100 w (s_p - \alpha c_p) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x [(f_q - \beta^{-1} \cdot c_q) + w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p)] + y [(f_f - \beta^{-1} \cdot c_f) + \\ + w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p)] + z [(c_c - \beta^{-1} \cdot c_c) + \\ + w (c_p - \beta^{-1} \cdot c_p)] &= \beta^{-1} \cdot c - f - 100 w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p) \end{aligned}$$

Resultam assim duas equações a três incógnitas, x, y e z , uma vez que u e v , e portanto w , são conhecidos.

A terceira equação para completar o sistema só pode ser estabelecida como equação de condição. As principais possibilidades são: 1) fixar a relação entre dois fundentes; 2) fixar a massa de escória; 3) fixar a massa total de fundentes, e 4) fixar relação entre fundentes de forma a satisfazer a condição de custo mínimo.

Na prática, entretanto, só excepcionalmente se oferece o problema de se ter de adicionar simultaneamente os três fundentes. Visto como há interesse econômico em manter dentro de certos limites o valor da relação entre as massas de escória e de metal, geralmente o problema está em se ter de adicionar dois fundentes e, em casos especiais, um único. Assim, num sinter que apresente excesso de SiO_2 , ter-se-á de adicionar FeO e CaO (em caso particular, um único deles); se o excesso apresentado for de FeO , adicionar-se-á SiO_2 e CaO (fundentes silicioso e calcário), e finalmente, se predominar CaO , carregar-se-á SiO_2 e FeO . É assim menos freqüente o caso em que se tenha de adicionar os três fundentes; quando êsse for o caso, somente uma equação de condição permitirá constituir um sistema resolúvel.

3. EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DE CARGAS COM DOIS FUNDENTES

As equações gerais (4) mostram que os coeficientes de x , y e z dependem exclusivamente dos fundentes disponíveis e da escória escolhida, definida pelos seus índices α e β (ou γ , que como se viu, é função de α e β), e da composição da cinza do combustível. Assim sendo, e como a análise da cinza do reductor é constante (não variando de partida a partida de fornecimento, a não ser em casos mais raros), e ainda, como os fundentes podem ser analisados com precisão através de amostras referentes a partidas razoavelmente grandes, há evidente vantagem em, uma vez definida a escória desejada, pelo critério de fluidez, calcular de uma vez por tôdas todos aqueles coeficientes que se mantêm assim constantes. Nessas condições, variando tão somente os sinters, definidos pelos seus teores s , f e c como se viu.

Fazendo-se nas equações (4):

$$\begin{array}{ll}
 s_q - \alpha c_q = I & f_q - \beta^{-1} \cdot c_q = L \\
 (5) \quad s_f - \alpha c_f = J & f_f - \beta^{-1} \cdot c_f = M \\
 s_c - \alpha c_c = K & f_c - \beta^{-1} \cdot c_c = N \\
 w (s_p - \alpha c_p) = a & w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p) = b
 \end{array}$$

e

$$\begin{aligned}
 I' &= s_q - \alpha c_q + w (s_p - \alpha c_p) = I + a \\
 J' &= s_f - \alpha c_f + w (s_p - \alpha c_p) = J + a \\
 (6) \quad K' &= s_c - \alpha c_c + w (s_p - \alpha c_p) = K + a \\
 L' &= f_q - \beta^{-1} \cdot c_q + w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p) = L + b \\
 M' &= f_f - \beta^{-1} \cdot c_f + w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p) = M + b \\
 N' &= f_c - \beta^{-1} \cdot c_c + w (f_p - \beta^{-1} \cdot c_p) = N + b \\
 \alpha c - s &= G \quad \text{e} \quad \beta^{-1} \cdot c - f = H
 \end{aligned}$$

e assim

$$\begin{aligned}
 (7) \quad G' &= \alpha c - s - 100 w (s - \alpha c) = G - 100a \\
 H' &= \beta^{-1} \cdot c - f - 100 w (f - \beta^{-1} \cdot c) = H - 100b
 \end{aligned}$$

resulta finalmente:

$$\begin{aligned}
 (8) \quad I'x + J'y + K'z &= G' \\
 L'x + M'y + N'z &= H'
 \end{aligned}$$

Nessas equações gerais, se se desprezar a cinza do redutor $w = 0$ e assim $a = 0$ e $b = 0$, resultando:

$$\begin{aligned}
 (9) \quad Ix + Jy + Kz &= G \\
 Lx + My + Nz &= H
 \end{aligned}$$

Nas equações (8) os coeficientes das incógnitas são constantes para os fundentes empregados se se adotar sempre a mesma escória definida pelos seus índices α e β ; se se desprezar a influência da cinza do redutor, caso em que se aplicarão as equações (9), os coeficientes serão também constantes para a partida de fundentes e para a escória escolhida. Os termos conhecidos das equações (8) dependem somente da partida de sinter (ou minério), de w e da composição da cinza do redutor; nas equações (9) dependem exclusivamente da composição do sinter, além de, em ambos os casos, dependerem da escória escolhida.

Visto como na operação dos fornos de redução se procura manter a composição da escória constante, a composição escolhida com base no critério de fluidez⁴, e como as partidas de fundentes podem ser razoavelmente grandes, pode o metalurgista

calcular para cada partida os valores daquelas constantes características. Assim, o único elemento capaz de variar de partida a partida é o sinter (ou minério); em consequência, os deslocamentos de sua composição afetam tão somente os termos conhecidos das equações (8) e (9).

Nos casos em que sejam necessários dois dos três fundentes para assegurar a produção da escória desejada, ocorrerão uma das três hipóteses seguintes:

1) *Fundentes ferrífero e calcário*

Fazendo $x = 0$ nas equações (8), vem:

$$\begin{aligned} J'y + K'z &= G' \\ M'y + N'z &= H' \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} y &= (G'N' - H'K')/\Delta'_1 \\ z &= (H'J' - G'M')/\Delta'_1 \end{aligned}$$

sendo $\Delta'_1 = J'N' - M'K'$ constante do par de fundentes e da escória escolhida no caso de serem consideradas as cinzas.

Se se desprezar a influência da cinza:

$$\begin{aligned} y &= (GM - HK)/\Delta_1 \\ z &= (HJ - GM)/\Delta_1 \end{aligned}$$

onde $\Delta_1 = JN - KM$.

2) *Fundentes silicioso e ferrífero*

Fazendo $z = 0$ nas equações (8), resulta:

$$\begin{aligned} I'x + J'y &= G' \\ L'x + M'y &= H' \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} x &= (G'M' - H'J')/\Delta'_2 \\ y &= (H'I' - G'L')/\Delta'_2 \end{aligned}$$

sendo $\Delta'_2 = I'M' - L'J'$.

Se se não considerar a contribuição da cinza do redutor, as equações (9) dão:

$$x = (GM - HJ) / \Delta_2$$

$$y = (HI - GL) / \Delta_2$$

onde $\Delta_2 = IM - LJ$.

3) Fundentes silicoso e calcário

Fazendo $y = 0$ nas equações (8):

$$I'x + K'z = G'$$

$$L'x + N'z = H'$$

donde:

$$x = (G'N' - H'K') / \Delta'_3$$

$$z = (H'I' - G'L') / \Delta'_3$$

onde $\Delta_2 = IM - LJ$.

Não se considerando a contribuição da cinza, as equações (9) dão de forma análoga:

$$x = (GN - HK) / \Delta_3$$

$$y = (HI - GL) / \Delta_3$$

onde $\Delta_3 = IN - KL$.

4. EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DE CARGAS COM UM FUNDENTE

Mostrar-se-á que, tal seja a composição do sinter (ou minério) em relação à da escória desejada, necessitar-se-á de um único fundente. Nesses casos simplificam-se as equações (8) ou (9) dando as seguintes soluções:

1) Fundente silicoso

Sendo por hipótese $y = z = 0$

$$x = G'/I' = H'/L'$$

no caso geral. Se se desprezar a cinza do redutor:

$$x = G/I = H/L$$

2) *Fundente ferrífero*

Se $x = z = 0$

$$y = G'/J' = H'/M'$$

Desprezada a cinza do redutor:

$$y = G/J = H/M$$

3) *Fundente calcário*

Se $x = y = 0$

$$z = G'/K' = H'/N'$$

no caso geral. Se for desprezada a contribuição da cinza:

$$z = G/K = H/N$$

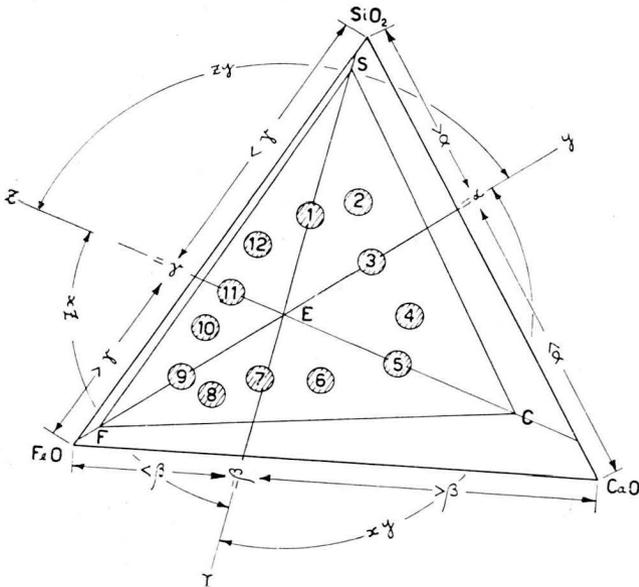


Fig. 1 — O ponto representativo do sinter (ou minério) poderá ocupar quaisquer das regiões "1" a "12" em face da escória desejada "E" e dos fundentes disponíveis (S silicoso, F ferrífero e C calcário). Estão indicadas as regiões em que s/c , c/f e f/s sejam maiores, iguais ou menores que α , β ou γ respectivamente. Quando o ponto representativo do sinter ocupar as regiões "12" a "2" necessitar-se-á de fundentes ferrífero e calcário; quando as regiões "4" a "6", fundentes silicoso e ferrífero; quando "8" a "10" fundentes silicoso e calcário. Quando se situar sobre "7" necessitar-se-á fundente silicoso; quando sobre "3" fundente ferrífero e quando sobre "11" calcário.

5. DISCUSSÃO DOS CASOS DE APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES

É fácil saber quais os fundentes necessários a um determinado sinter para produzir a escória desejada, pela comparação das relações entre os teores de SiO_2 e CaO e de FeO e SiO_2 do sinter com os índices correspondentes (α e γ) da escória.

Na figura 1 representaram-se as composições dos três fundentes (reduzidos aos seus constituintes essenciais) S, F e C, bem como a escória desejada (escolhida pelo critério de fluidez), E. Ligando-se os pontos representativos dos fundentes à escória, e prolongadas essas retas, o campo das composições do sinter (no caso mais geral) fica dividido em 6 áreas, separadas por 6 retas. Conseqüentemente, o ponto representativo dos constituintes essenciais do sinter poderá ocupar qualquer uma das 6 áreas ou se situar sôbre qualquer uma dessas 6 retas, além de poder corresponder ao ponto E, como em que, e como evidente, nenhum fundente é necessário.

É fácil vêr que essas regiões se caracterizam por valores de s/c , c/f ou f/s maiores ou menores que, respectivamente, α , β ou γ . É igualmente fácil vêr que as retas limites das áreas correspondem a valores exatos de α (para FE), de β (para SE) ou de γ (para CE). É evidente que se o ponto representativo do sinter ocupar qualquer posição sôbre qualquer uma dessas retas em seu prolongamento além do ponto E (a partir do ponto representativo do fundente), apenas um fundente será necessário.

Na figura 1 as regiões "10", "11", "12", "1" e "2" correspondem a $s/c > \alpha$ e as região "4", "5", "6", "7" e "8" a $s/c < \alpha$; análogamente "6", "7", "8", "9" e "10" a $f/s > \gamma$ e "12", "1", "2", "3" e "4" a $f/s < \gamma$. No caso de o ponto representativo do sinter ocupar as áreas "12" ou "2" ou ainda a separatriz "1" há necessidade de se examinar o valor de c/f conforme possa ser $> \beta$, $= \beta$ ou $< \beta$. Análogamente, se o ponto representativo do sinter estiver nas áreas "6" ou "8" ou na separatriz "7", há também necessidade de se comparar o valor de c/f com β . Nos demais casos, a simples comparação de s/c com α e de f/s com γ permite saber quais os fundentes necessários e assim empregar a fórmula correta.

O quadro seguinte reproduz as conclusões dessas comparações.

FUNDENTES NECESSÁRIOS

Valores de s/c	Valores de f/s					
	$< \gamma$		$= \gamma$			$> \gamma$
	região	fundentes	região	fundentes	região	fundentes
$> \alpha$	(12) (1) (2)	se $c/f < \beta$ y e z se $c/f = \beta$ y e z se $c/f > \beta$ y e z	(11)	z	(10)	x e z
$= \alpha$	(3)	y	(E)	O	(9)	x e z
$< \alpha$	(4)	x e y	(5)	x e y	(8) (7) (6)	se $c/f < \beta$ y e z se $c/f = \beta$ x se $c/f > \beta$ y

Com a discussão feita no quadro acima, torna-se direta a aplicação das equações gerais (8) ou (9), conforme foi mostrado nos capítulos 3 e 4, pela simples comparação dos valores de s/c e f/s com os valores de α e γ da escória escolhida: nos casos das áreas "2" e "12" (em que $f/s < \gamma$ e $s/c > \alpha$) ou nos das áreas "8" e "6" (em que $f/s > \gamma$ e $s/c < \alpha$) é que será necessário comparar os valores de c/f com os de para se saber quais os fundentes necessários.

6. CONCLUSÕES

1. O processo de cálculo anteriormente desenvolvido pelo autor e aqui reproduzido permite o cálculo exato das cargas de fornos de redução de chumbo (bem como de cobre e de estanho, principalmente) quando se considera a contribuição da cinza do redutor. Quando se utiliza carvão vegetal, é muito pequeno o desvio da composição da escória não se levando em conta a cinza.

2. A escolha da escória deve ser feita pelo critério de fluidez (atendidos, como evidente, os requisitos econômicos) para as temperaturas mínimas a serem atingidas no processo de redução. Esse critério é preferível aos de determinadas relações estequiométricas, como fôra feito em contribuição anterior².

3. A discussão feita e apresentada de forma resumida na fig. 1 e no quadro do Capítulo 5, permite por simples comparação dos valores de s/c e f/s do sinter (nos casos apontados também de c/f) com os índices correspondentes α e γ (nos casos apontados também com β) da escória, se saber de antemão quais os fundentes ou fundente necessários. Conhecidos esses, as soluções das equações apresentadas nos Capítulos 3 e 4 permitem calcular facilmente as massas desses fundentes, levando ou não em conta a cinza do redutor.

REFERÊNCIAS

1. SOUZA SANTOS, T. D. — *Um método geral para cálculo das cargas de fornos de chumbo*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 3, n.º 7, págs. 303-318, 1947.
2. SOUZA SANTOS, T. D. — *Sobre a constituição das escórias dos fornos de redução de sinters de chumbo*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 2, n.º 4, págs. 1-23, 1946.
3. PROST, E. — *Metallurgie des Metaux Autres que le Fer*, págs. 178-190. Librairie Polytechnique, Paris, 1931.
4. SOUZA SANTOS, T. D. — *Nota preliminar sobre a fluidez Herty das escórias de redução de chumbo*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 9, n.º 31, págs. 261-289, 1953.



DISCUSSÃO (1)

H. A. Hunnicutt (2) — Quero agradecer ao Professor Souza Santos mais esta contribuição, da série com que vem cooperando desde há anos para a tecnologia dos metais não-ferrosos. Está em discussão o trabalho.

George de Moraes (3) — Quero congratular-me com o Prof. Souza Santos, porque esta contribuição é uma ajuda para os que trabalham com escória. Tenho dois pontos anotados. Um deles é que deve ter havido engano do Prof. Tharcísio ao transcrever suas notas para o quadro negro, eis que, da maneira que está transcrito, as recíprocas não ficaram muito claras. O outro caso que tenho observado é o de que, quanto a essa questão de pontos de fusão no diagrama como também a questão de fluidez, parece que há sempre uma maior consistência quando se usa o critério de somar-se CaO com magnésio, CaO com MgO, isto é, os totais conjuntos. Observei que no simpósio realizado nos Estados Unidos sobre escórias, cujos trabalhos foram publicados em 1942, nas escórias principalmente de altos fornos adotarem esse mesmo critério, o de somar-se CaO aos totais de MgO até 10% de MgO sobre o total de CaO. Houve algumas dificuldades nesse sentido e depois começou-se a adotar esse critério de somar o total de CaO com MgO, principalmente nos casos de gases que contém razoável quantidade de MgO. Havia maior concentração, obtinhamos melhores resultados não só de fluidez como de ponto de fusão.

T. de Souza Santos (4) — A observação do Eng. George Moraes é oportuna. O metalurgista, interessado na metalurgia extrativa, seja no problema de operação de um alto forno, seja no problema que expôs hoje pela manhã, relativo à produção de liga contendo germânio, está

(1) Contribuição Técnica n.º 393. Discutida na Comissão «F» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Engenheiro e Representante Técnico da International Nickel Co. Inc.; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro do Centro Técnico de Aeronáutica de São José dos Campos, SP.

(4) Membro da ABM; Professor Catedrático da EPUSP; São Paulo, SP.

interessado principalmente no problema de fluidez da escória. Ele, na realidade, não tem interesse especial em saber se a escória está totalmente líquida ou não. O que ele precisa saber é, em primeiro lugar, se a escória é líquida e, em seguida, qual a sua fluidez. Por isso, as indicações fornecidas pelos diagramas, exatamente pelo fato de se referirem a sistemas puros, têm apenas valor relativo. Em particular, lembrar que é bem sabido que no sistema sílica-ferro-cal há uma região de baixas temperaturas, correspondente a 57-60% SiO_2 e 18-20% CaO com 1.100°C . Se pretendessemos, entretanto, calcular escória de forno de chumbo, com base exclusiva nesse diagrama, deveríamos preferir essa região, mas teríamos o grande dissabor de verificar que precisamente esta é uma região de alta viscosidade intensiva. O que interessa é se ter o comportamento fluido; mesmo com aparelhamento simples como o viscosímetro de Hertz podemos ter indicações do valor prático.

A experiência mostra que muitas escórias, mesmo no intervalo sólido-líquido, são bastante fluídas. Outras, mesmo bem acima da linha do **liquidus**, são bastante viscosas. Estamos assim interessados principalmente nas linhas isofluídas, nos diversos planos isotérmicos. É claro que o problema da temperatura é primacial no nível de co-redutibilidade dos constituintes da carga, por isso temos trabalhado num nível que seja compatível.

G. Moraes — A conveniência de adotar-se a soma CaO mais MgO , ao invés de somente CaO , como seu diagrama expõe, qual seria?

T. Souza Santos — Não tenho experiência pessoal em escórias de altos fornos. Nos casos de fornos de chumbo, tenho verificado que não convém tomar $\text{MgO} + \text{CaO}$ em lugar de CaO . É preferível sempre considerarmos a escória-base, isto é, recalculada para $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{CaO} = 100\%$ desde que, entretanto, MgO seja inferior a 10%. Se MgO for superior a 10%, o resultado será diferente.

Em trabalho apresentado anteriormente, há alguns anos, estudei especificamente a influência não só de MgO como de CaF_2 e Al_2O_3 e verifiquei que teores de MgO da ordem de 30%, contrariamente à crença generalizada, não afetam desfavoravelmente a fluidez. Os dados experimentais mostraram também ser pequeno o aumento de fluidez devido à fluorita, no caso dessas escórias, que são intrinsecamente muito fluídas.

G. Moraes — Queria registrar minha experiência com a fluorita, no caso das escórias descritas no trabalho. Já verificamos que as fluídas, a uma certa temperatura, vamos dizer, a 1.400°C , em que foram feitas as experiências, geralmente dobram o índice do vértice das escórias em que trabalhamos.

T. Souza Santos — No caso de suas escórias, elas eram constituídas por sílica, cal, magnésio e alumínio. Nas escórias de fornos de chumbo, contendo sempre o mínimo de 80% da soma sílica mais óxido de ferro mais cal, esse efeito não existe, mesmo porque trabalhamos com escórias no máximo a 1.200°C ; a essa temperatura já existe uma região considerável do diagrama que apresenta uma fluidez de 60 cm. Nessas escórias não há nenhuma influência sensível de CaF_2 até 5%.

G. Moraes — Quero ainda perguntar ao Prof. Souza Santos se, na sua experiência, observou um fato que tenho verificado ultimamente, que é o seguinte: se, baixando a temperatura de uma determinada escória, tirando a fluidez Hertz de uma escória a mais baixa temperatura,

encontrou casos em que essa fluidez aumenta sem nenhuma alteração na composição da escória.

T. D. S. Santos — Nunca, nas escórias por mim estudadas. A curva fluidez-temperatura é sempre ascendente. As curvas são geralmente de um tipo em que o trecho inicial é curvo e, a partir de certo nível de temperatura, sensivelmente linear. Outras escórias tem curva parabólica. Na região de baixos índices de fluidez, caracterizada por baixo CaO, existem escórias que têm curva de lei de tipo exponencial com a temperatura. Não encontrei em trabalhos experimentais nenhuma curva que apresentasse um mínimo e depois um máximo.

G. Moraes — Uma última pergunta, aproveitando a experiência do Autor. É quanto ao enxôfre nas escórias. Tem alguma notícia da influência do enxôfre na viscosidade das escórias?

T. D. S. Santos — Não. Desejaria, entretanto, observar que tenho quase certeza de que, nas escórias de alta temperatura, não há enxôfre oriundo de sulfatos, senão em concentrações extremamente baixas.