

INFLUÊNCIA DAS FASES PRESENTES NAS MISTURAS INICIAIS E FINAIS NA EFICIÊNCIA DE DESFOSFORAÇÃO DO FERRO-GUSA*

Anna Paula Littig Berger¹
Daniela Bahiense de Oliveira²
Cynara Christ Klippe³
Camila Santos Scopel⁴
Felipe Lima e Silva⁵
Felipe Costa Broseghini⁶
José Roberto de Oliveira⁷

Resumo

O objetivo deste artigo é analisar a influência das fases presentes nas misturas iniciais e finais na eficiência de desfosforação do ferro-gusa. Foram realizados 8 experimentos no forno de resistência, na temperatura de 1400°C, e além disso foram feitas simulações no software FactSage 6.4. Como resultado, obteve-se que as misturas DP3 e DP4 são as mais eficientes, possuindo tanto na mistura inicial quanto na final saturação em CaO, ou seja, atividade do CaO igual a 1; atividade de FeO maior possível e maior quantidade de fase líquida possível. As misturas com fases sólidas DP5 a DP8 apresentaram menor eficiência de desfosforação, pode-se concluir então que as fases sólidas diminuem a eficiência de desfosforação em processos reais, apesar de reterem mais fósforo no equilíbrio.

Palavras-chave: Desfosforação; Ferro-gusa; Termodinâmica computacional.

INFLUENCE OF THE PHASES PRESENT IN THE INITIAL AND FINAL MIXES IN THE DEPHOSPHORIZATION EFFICIENCY OF HOT METAL

Abstract

The main objective of this paper is to analyze the influence of the phases present in the initial and final mixes in the dephosphorization efficiency of hot metal. Eight experiments were carried out in a resistance furnace, with temperature of 1400 ° C, and moreover simulations were performed in FactSage 6.4 software . As a result, it was obtained that DP3 and DP4 mixtures are the most efficient, having both the initial and final mixture saturation upon CaO, that is CaO activity equal to 1; FeO activity longest and largest possible amount of liquid phase. Mixtures with the solid phases DP5 and DP8 showed lower dephosphorization efficiency, then it can be concluded that these phases decrease the dephosphorization efficiency in real cases, although retaining phosphorus in equilibrium balance.

Keywords: Hot metal; Dephosphorization; Computational thermodynamics.

¹ Engenheira Metalurgista e Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

² Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheira Metalurgista e Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

⁴ Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

⁵ Graduando em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

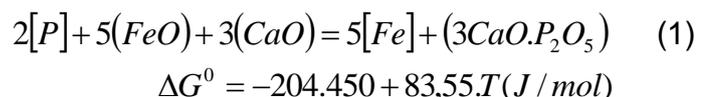
⁶ Engenheiro Metalurgista e Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

⁷ Prof. Dr. do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Vitória, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo é considerado um elemento prejudicial à qualidade da maioria dos aços, uma vez que influencia negativamente nas propriedades mecânicas do mesmo. A desfosforação é um processo físico-químico que ocorre tanto em ambientes oxidantes quanto em ambientes redutores, entretanto, a desfosforação em ambientes oxidantes é a mais utilizada, uma vez que a cal possui baixo custo e é possível obter ambientes oxidantes através da injeção de wustita [1].

A oxidação do fósforo pode ocorrer mediante a reação entre o fósforo dissolvido no metal e o oxigênio fornecido pelo óxido de ferro presente na escória com simultânea fixação do óxido resultante pelo CaO, formando o fosfato tricálcio ($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$), de acordo com a reação 1 [2, 3, 4]:



Uma análise termodinâmica da reação de oxidação do fósforo permite concluir que a desfosforação será favorecida pelo elevado potencial de oxigênio do sistema, pela baixa temperatura e por uma escória rica em CaO, com baixa atividade do P_2O_5 e elevada basicidade [2].

Uma vez que as escórias do processo de desfosforação, principalmente as relacionadas ao sistema $\text{CaO}\text{-}\text{P}_2\text{O}_5$, são responsáveis por fixar o fósforo, impedindo-o de reverter para o metal, torna-se necessário o estudo das fases sólidas presentes na desfosforação de ferro-gusa.

A escória de desfosforação é normalmente composta de um sistema $\text{CaO}\text{-}\text{SiO}_2\text{-}\text{FeO}\text{-}\text{P}_2\text{O}_5$, sendo de conhecimento que a formação da fase sólida silicato dicálcio ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) tem papel de grande importância por formar uma solução sólida com o principal produto da desfosforação, o $3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$. Estes formam uma solução sólida de $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\text{-}3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ com a escória líquida [5].

A formação do $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\text{-}3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ ocorre na interface entre o sólido $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ e a escória. Portanto, o estudo dos mecanismos de formação dessas fases sólidas se torna importante para o entendimento completo da sua atuação no processo [5].

Através da dissolução da cal pela escória líquida ocorre a formação de fases sólidas como o silicato dicálcio ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), silicato tricálcio ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) e cálcio-ferrita ($\text{CaO}\cdot\text{Fe}_x\text{O}$). O silicato dicálcio é encontrado em escórias com baixo teor de FeO e basicidade próxima a dois. A formação do silicato tricálcio e solução sólida de wustita podem ser influenciadas pelo aumento do teor de MgO. O silicato tricálcio tem efeito negativo na dissolução da cal, pois pode formar uma espécie de envólucro ao redor das partículas de cal, além de possuir alto ponto de fusão, prejudicando a desfosforação [6].

Existem diferentes teorias com relação a formação das fases sólidas. Uma delas afirma que o $3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ se move para a fase de silicato dicálcio, já precipitada, por meio de difusão no estado sólido durante a solidificação da escória [7]. Já em outra teoria, sugere-se que uma solução sólida de $3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$ e $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ precipita diretamente da escória líquida, considerando que a cinética de difusão do fósforo pela fase sólida seria significativamente lenta [8].

O P_2O_5 formado na escória tem que ser fixado nessa, pois caso não seja, pode ocorrer o fenômeno de reversão do fósforo a partir da escória para o banho metálico. A fixação do P_2O_5 é obtida mediante reação com o CaO presente na mistura, o qual forma o fosfato tricálcio ($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5$). Estudos cinéticos afirmam que como a reação de desfosforação obedece uma reação de primeira ordem, podemos considerar que a etapa controladora do processo ocorre (a) na interface de reação química (interface

metal/escória), (b) no transporte de massa na escória, (c) no transporte de massa no metal ou (d) em uma combinação dessas etapas. [9]

Assumindo que a reação desfosforação é controlada pelo transporte de massa do fósforo no metal e na escória, temos que a equação da velocidade da reação de desfosforação pode ser representada pela Equação 2 [10]:

$$-\frac{d[\%P]}{dt} = k' \frac{A \rho_m}{W_m} ([\%P] - [\%P_{eq}]) \quad (2)$$

Onde: k' = Coeficiente de transferência de massa global (m/s); ρ_m = Densidade do metal (kg/m³); A = Área interfacial (m²); W_m = Massa de metal (kg); $[\%P]$ = porcentagem de fósforo no metal; $[\%P_{eq}]$: porcentagem de fósforo de equilíbrio no metal.

Analisando a Equação 2, é possível observar que quanto maior for a área de interface metal/escória, maior será a desfosforação, e isso comprova a hipótese de que a presença de fases sólidas prejudicam o processo de desfosforação.

Diante dessas afirmações, o presente artigo busca estudar a influência das fases presentes tanto nas misturas iniciais quanto nas finais sobre eficiência de desfosforação do ferro-gusa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para do presente a realização trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

- Determinação das misturas iniciais;
- Realização dos testes experimentais;
- Avaliação das misturas através dos softwares de termodinâmica computacional.

2.1 Determinação das misturas

Para a realização deste trabalho, inicialmente foi definida a composição química das misturas desfosforantes. Para isso, realizou-se simulações preliminares através do software FactSage e, em seguida, foram propostas as misturas desfosforantes. Como proposta, pensou-se manter-se a massa das misturas desfosforantes constantes, enquanto que a relação entre a concentração de FeO e CaO presentes nessas foi variado. Também buscou preparar se misturas que apresentarão ao fim dos experimentos diferentes atividades de CaO, quantidades de fases líquida e sólida, e formação de diferentes teores de 3CaO.SiO₂ e 2CaO.SiO₂ sólidos.

A Tabela 1 mostra a composição química e a massa das misturas desfosforantes iniciais propostas neste trabalho. Vale ressaltar que as misturas DP1 à DP4 foram objetivadas para não formarem fase sólida, ao contrário das misturas DP5 à DP8 que o objetivo era de formar as fases sólidas 3CaO.SiO₂ e 2CaO.SiO₂.

Tabela 1. Composição química inicial e massa das misturas desfosforantes

Mistura	Composição (%)						Relação CaO/FeO	Massa da Mistura (g)
	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO		
DP1	71,6	25,6	1,65	0,68	0,13	0,34	0,27	65
DP2	65,8	31,5	1,60	0,64	0,15	0,31	0,36	65
DP3	60,0	37,4	1,51	0,63	0,18	0,28	0,47	65
DP4	56,1	41,3	1,49	0,61	0,25	0,27	0,55	65
DP5	52,3	43,4	3,2	1,0	0,2	0,0	0,83	65
DP6	50,5	44,6	3,8	0,9	0,2	0,0	0,89	65
DP7	55,1	39,1	4,6	0,9	0,2	0,0	0,71	65
DP8	50,1	43,0	5,8	0,9	0,2	0,0	0,86	65

2.2 Realização dos experimentos

Inicialmente, carregou-se um quilograma de ferro-gusa sólido em cadinhos de MgO-C e o inseriu em um forno de resistência elétrica MAITEC, modelo 1700-FEE a 1400 °C. Soprou-se gás argônio sobre o ferro-gusa a uma taxa de 10 Nl/min, a fim de inertizar o ambiente e evitar a oxidação do metal.

Depois de aproximadamente 40 minutos, o ferro-gusa fundiu-se totalmente. Retirou-se uma amostra inicial do metal através de um amostrador à vácuo e, em seguida, adicionou-se a mistura desfosforante sobre o ferro-gusa através de um tubo de aço inoxidável. Depois de adicionada a mistura, um impeller de quatro pás alumina fixo a uma haste também de alumina foi inserido no banho a uma rotação de 500 rpm. Retirou-se amostras nos tempos de 0, 5, 10, 15, 20 e 30 minutos. A Tabela 2 apresenta a composição química média do ferro gusa e a Figura 1 mostra um diagrama esquemático dos experimentos realizados.

Tabela 2. Composição química média do ferro-gusa.

% em massa					Total (%)
Fe	S	C	Si	P	
95,64	0,01	3,95	0,31	0,09	100

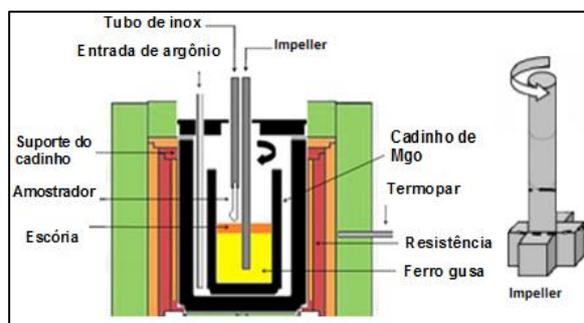


Figura 1. Diagrama esquemático dos experimentos realizados.

2.3 Avaliação das misturas através do software de termodinâmica computacional

Utilizou-se o software FactSage, versão 6.4, para os cálculos termodinâmicos computacionais. Os bancos de dados utilizados para a avaliação das misturas e escórias foram o FactPS e o Ftoxid. Entretanto, em cada banco de dados escolhido existe um sub-banco de dados que atua de forma a selecionar de maneira mais precisa os compostos presentes na mistura. Dessa forma, utilizou-se os sub-bancos Pure Solids e Slag? do banco de dados Ftoxid. O banco de dados utilizados para a avaliação das condições de equilíbrio termodinâmico da reação de desfosforação foi o FSsteel. Vale ressaltar que o sub-banco de dados selecionado foi o LIQUID, uma vez que a 1.400 °C o ferro-gusa está totalmente líquido.

Através destes cálculos foram determinados os seguintes parâmetros: as fases presentes nas escórias finais; atividade dos óxidos nas escórias finais; viscosidade nas escórias finais; condições de equilíbrio entre a escória e o metal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos na desfosforação. A mesma encontra-se dividida no seguinte formato:

- Resultados obtidos no teste experimental;
- Avaliação termodinâmica da escória final com o uso de software termodinâmico;
- Avaliação termodinâmica da mistura inicial com o uso de software termodinâmico.

3.1 Resultados obtidos no teste experimental

Os resultados dos testes experimentais das 8 misturas desfosforantes estão apresentadas na Figura 2 (a), em que se apresenta a variação da $[\%P] / [\%P]_0$ com o tempo. Já a figura 2 (b) apresenta a eficiência das diferentes misturas utilizadas nos testes experimentais, em que a eficiência de desfosforação é representada pelo símbolo η , calculada através da Equação 3.

$$\eta(\%)_{De-P} = \frac{[P]_{inicial} - [P]_{final}}{[P]_{inicial}} \times 100 \quad (3)$$

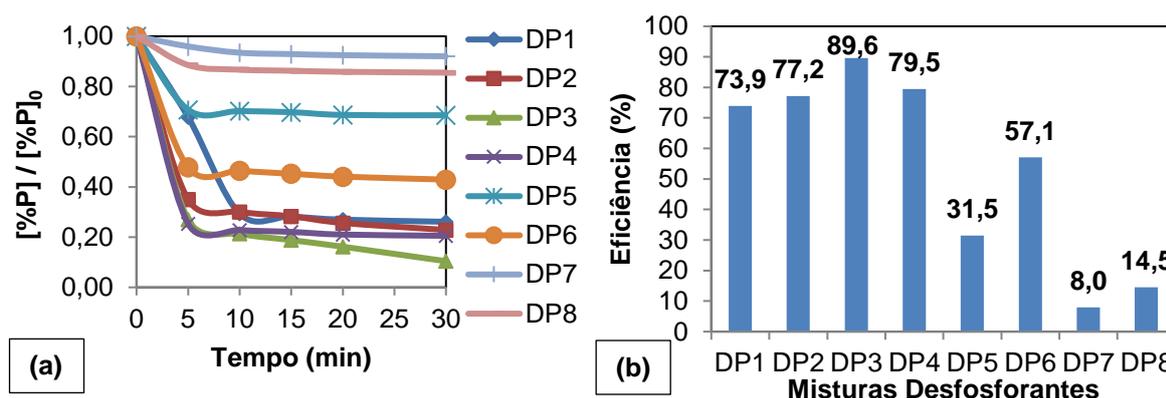


Figura 2. (a) Concentração de $[\%P] / [\%P]_0$ com o tempo no ferro-gusa mediante o tempo nos testes de DeP realizados a 1400 °C. (b) Eficiência Desfosforante (De-P) obtidos nos testes experimentais a 1400 °C.

A desfosforação, nas condições usadas, ocorreu nos primeiros 10 minutos e o menor teor de fósforo alcançado foi de 0,0107% utilizando a mistura DP3. Também é possível observar através da Figura 2 (b) que a mistura com maior eficiência foi a DP3 com 89,6% e a de menor eficiência foi a DP7 com 8,0%. Para melhor compreensão destes resultados fez-se a análise por meio dos softwares termodinâmicos.

3.2 Avaliação da eficiência da desfosforação através das escórias finais

Nesta seção as escórias finais geradas ao final dos testes experimentais de desfosforação, cuja composição química esta apresentada na Tabela 3 e foram avaliadas através do software FactSage 6.4.

Tabela 3. Concentração final da escória gerada nos testes de desfosforação DP1 a DP8.

MISTURA	Composição (%)							Relação CaO/SiO ₂ Final	Relação CaO/FeO Final	$\eta(\%)$
	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅			
DP3	27,7	52,3	11,5	2,11	1,86	0,30	4,23	4,55	1,88	89,57
DP4	24,4	57,1	12,2	0,90	1,17	0,30	3,93	4,68	2,34	79,46
DP2	35,2	41,1	13,8	2,84	2,14	0,55	4,37	2,98	1,17	77,15
DP1	42,4	32,3	14,7	1,40	3,91	0,60	4,69	2,20	0,76	73,88
DP6	12,1	53,8	18,4	7,12	4,76	0,20	0,85	2,92	4,46	57,08
DP5	11,6	54,0	18,1	5,32	4,45	0,21	1,15	2,98	4,67	31,45
DP8	14,0	53,1	23,1	4,27	2,33	0,18	1,95	2,30	3,81	14,48
DP7	14,0	52,2	21,1	6,17	3,67	0,22	3,14	2,47	3,73	7,98

A Tabela 4 mostra as fases formadas e a atividade do CaO e FeO na escória final obtida na simulação das escórias no software FactSage 6.4. Para o cálculo da viscosidade, inicialmente foi realizada uma simulação através do FactSage. No

entanto, o mesmo somente calcula a viscosidade da fase líquida da mistura. Dessa forma, foi necessário corrigir tal viscosidade através da expressão de Einstein-Roscoe [11, 12], apresentada na equação 4:

$$\eta_e = \eta \cdot (1 - 1,35 \cdot X_{sol.})^{-\frac{5}{2}} \quad (4)$$

Onde, η_e : Viscosidade efetiva da mistura (Poise); η : Viscosidade da fração líquida da mistura (Poise) e; $X_{sol.}$: Fração da fase sólida presente na mistura.

Tabela 4. Fases formadas e atividade do CaO e FeO na escória final a 1400 °C obtidas a partir do FactSage via banco de dados FToxid.

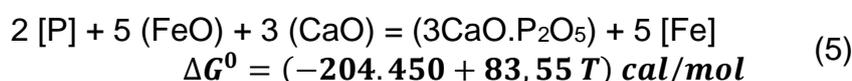
Mist.	%Líqu.	Fases sólidas formadas (%)				aCaO	aFeO	Visc.*	Visc.**	η (%)
		CaO	C3S	C2S	MgO					
DP3	93,79	5,81	-	-	0,4	1	0,29	0,61	0,76	89,57
DP4	86,74	13,26	-	-	-	1	0,3	0,65	1,06	79,46
DP2	100	-	-	-	-	0,21	0,76	0,54	0,54	77,15
DP1	100	-	-	-	-	0,17	0,78	0,45	0,45	73,88
DP6	69,64	-	10,66	16,48	3,22	0,97	0,16	0,74	1,15	57,08
DP5	62,12	-	24,74	9,91	3,23	0,97	0,17	0,78	1,31	31,45
DP8	63,31	-	-	36,64	0,05	0,6	0,3	0,8	1,43	14,8
DP7	76,95	-	-	22,31	0,74	0,5	0,24	0,72	1,12	7,98

C3S: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e C2S- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

*Viscosidade calculada através do FactSage. **Viscosidade corrigida através da equação de Einstein-Roscoe.

Como é possível observar na Tabela 4, a formação de CaO sólido na temperatura de 1400°C só ocorreu nas misturas DP3 e DP4, sendo que estas não apresentaram a formação de $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ e/ou $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ na temperatura de trabalho e, dentre estas, aquela que possui maior quantidade de líquido foi mais eficiente.

Já nas misturas DP5 a DP8, onde ocorreu a formação das fases sólidas (C3S e C2S), houve diminuição da quantidade de fase líquida disponível para a reação. Como pode-se observar pela Tabela 3, as misturas DP5 a DP8 possuem maior quantidade de SiO_2 , assim o SiO_2 consumiu o CaO que deveria estar disponível para reagir com o P_2O_5 na interface metal-escória para formar o $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ na escória líquida. Portanto, a fase $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ permanece na fração líquida da escória, e somente vai para a fração sólida por meio da formação da fase condensada $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ - $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, essa última mais comum. Porém, essas fases sólidas também são responsáveis pelo consumo do CaO líquido que deveria reagir com o FeO e o fósforo presente no metal, como visto na equação 5.



Uma vez que a fase $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ vai para a fração sólida da escória, esta diminui a área de interface metal/escória, e cineticamente, acaba prejudicando a desfosforação, de acordo com a equação 2. Através da viscosidade corrigida de cada mistura foi possível observar a importância da cinética, como observado na Figura 3.

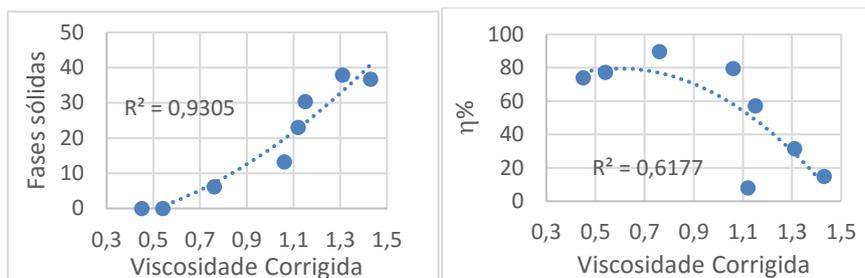


Figura 3. Viscosidade da escória final x (a) Fases sólidas e (b) Eficiência

Analisando a figura 3, é possível notar a diferença da viscosidade entre as misturas DP1 à DP4 e as misturas DP5 à DP8, observa-se que as misturas que contêm mais fases sólidas possuem maior viscosidade. Como consequência, obteve-se uma escória menos fluída, prejudicando a reação de desfosforação, portanto estas possuem menor eficiência.

A variação da eficiência da desfosforação com a atividade do CaO, a atividade do FeO, a %Líquido e a razão CaO/FeO são mostradas na Figura 4, com base nos resultados obtidos pela simulação no software FactSage 6.4.

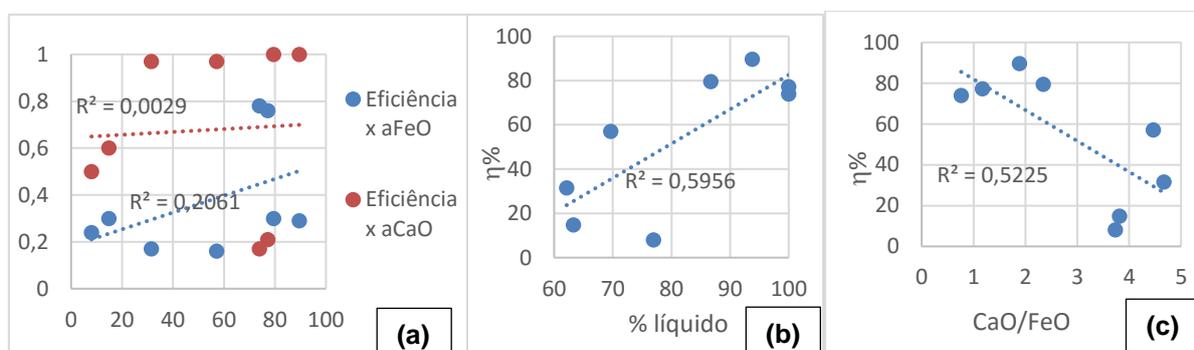


Figura 4. Relação entre a eficiência desfosforante e (a) a atividade do CaO e do FeO; (b) %líquido na escória e (c) razão CaO/FeO

Como é possível observar na Figura 4 (a), a a_{CaO} e a a_{FeO} , apesar da influência no processo de desfosforação, apresentaram baixa correlação com a eficiência obtida no processo. Estes fatores sozinhos não são suficientes para explicar o processo, já que formação das fases sólidas nas misturas DP5 a DP8 mudam totalmente o comportamento da escória, influenciando na quantidade de líquido gerado e, por consequência, na cinética.

Já na Figura 4 (b) observa-se que o aumento da quantidade de líquido na escória tende a aumentar a eficiência do processo, uma vez que a cinética de desfosforação é favorecida ao aumentar a área de interface metal/escória. Sendo assim, pode-se afirmar que a presença de fases sólidas prejudica o processo de desfosforação.

Foi também correlacionado a razão CaO/FeO com a eficiência de desfosforação (Figura 4 (c)), observa-se que quanto menor a razão, maior foi a eficiência de desfosforação.

Abaixo na Figura 5 são apresentadas as relações entre a razão CaO/FeO e quantidade de fases sólidas e a atividade do CaO, a de fases sólidas e quantidade de SiO₂ e de FeO presente na escória final e a da razão CaO/(SiO₂ + FeO) com as fases sólidas.

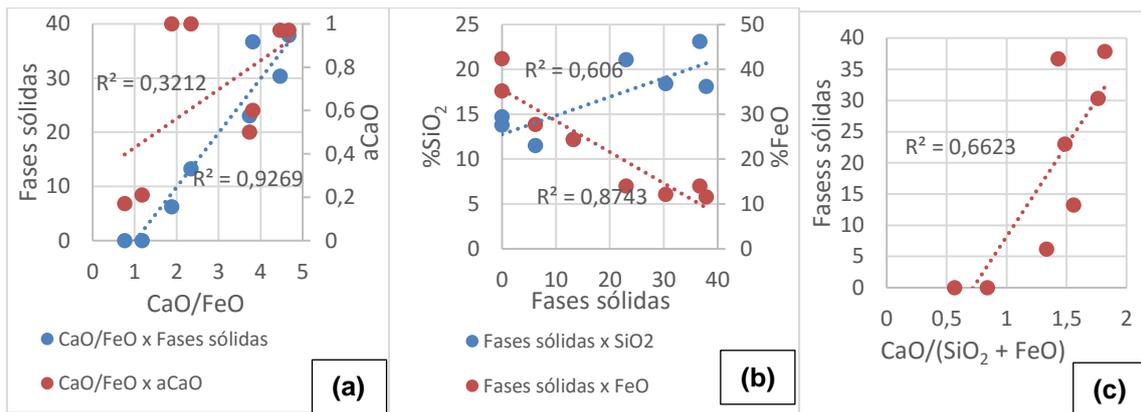


Figura 5. Relação entre (a) a razão CaO/FeO e quantidade de fases sólidas e a atividade do CaO, (b) fases sólidas e quantidade de SiO₂ e de FeO presente na escória final e (c) razão CaO/(SiO₂ + FeO) com as fases sólidas.

Analisando estes gráficos é possível observar que eles apresentam boas correlações, além disso, observa-se que para o gráfico que relaciona as fases sólidas com a razão CaO/FeO quanto menor a razão, menor é a formação de fases sólidas, e conseqüentemente, melhor é a eficiência de desfosforação, entretanto, analisando também o gráfico que relaciona a razão CaO/FeO com a a_{CaO} , pode-se afirmar que para que se tenha uma boa eficiência de desfosforação, a atividade do CaO deve ser igual a 1, então, conclui-se que a razão CaO/FeO deve ser a menor possível, desde que a atividade do CaO seja igual a 1. Também é possível observar na figura 5 (b) e (c) que quanto menos SiO₂ na escória final, menor será a formação de fases sólidas, e que quanto mais FeO na escória final, menor é quantidade de fases sólidas, comprovando que a presença de FeO na mistura a torna mais fluida.

3.3 Avaliação da eficiência da desfosforação através das misturas iniciais

Esta seção avalia o processo de desfosforação tomando como base os resultados obtidos na análise química da mistura inicial novamente com uso do software FactSage 6.4.

As misturas desfosforantes iniciais foram inseridas no software FactSage 6.4, na temperatura de 1400°C e pressão de 1 atm, para a identificação da quantidade de fase líquida, a verificação da possibilidade de existência de formação de compostos sólidos e a obtenção das atividades de CaO (a_{CaO}) e de FeO (a_{FeO}) na temperatura de trabalho. Os dados utilizados encontram-se na Tabela 1. A Tabela 5 mostra o resultado da simulação.

Tabela 5. Fases formadas e atividade do CaO e FeO na mistura desfosforante a 1400 °C obtidas a partir do FactSage via banco de dados FToxid.

Mistura	%Líquido	%CaO	a_{CaO}	a_{FeO}	η (%)
DP3	99,33	0,67	1,00	0,38	89,57
DP4	93,23	6,77	1,00	0,38	79,46
DP2	100,00	-	0,63	0,51	77,15
DP1	100,00	-	0,40	0,63	73,88
DP6	92,22	7,78	1,00	0,37	57,08
DP5	93,42	6,58	1,00	0,37	31,45
DP8	97,67	2,33	1,00	0,36	14,80
DP7	100,00	-	0,89	0,40	7,98

Foram traçados gráficos da variação da eficiência da desfosforação com a atividade do CaO, a atividade do FeO e a %Líquido, e estes são apresentados na Figura 5, com base nos resultados obtidos pela simulação no software FactSage 6.4.

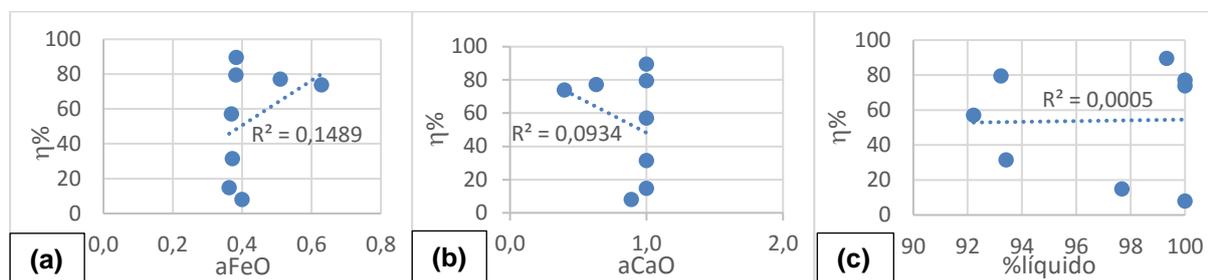


Figura 5. Relação entre a eficiência desfosforante e (a) a atividade do FeO; (b) a atividade do CaO e (c) %líquido na escória.

Novamente torna-se difícil encontrar uma correlação entre os parâmetros isoladamente. A %CaO e a %líquido demonstram ainda que existe um valor onde estes parâmetros deixam de beneficiar a eficiência e passam a se comportar de maneira contrária, a prejudicando. Isso ocorre pois temos que com o aumento da %CaO a quantidade de líquido na escória diminui, e conseqüentemente há o aumento das fases sólidas, desfavorecendo a cinética do processo, que necessita de uma escória mais fluída para a reação metal/escória.

Correlacionando os resultados obtidos do aquecimento das misturas iniciais com os resultados obtidos no aquecimento da escória final, pode-se notar que para conseguir as condições que garantem maior eficiência de desfosforação é necessário que as misturas iniciais possuam saturação em CaO, para garantir que no final do processo ainda exista CaO sólido, e maior quantidade de líquido, respeitando a condição anterior. Também nota-se que é importante que a relação CaO/SiO₂ seja mais baixa, uma vez que nas misturas com essa relação mais alta, obteve-se a formação das fases sólidas que diminuem a eficiência do processo de desfosforação.

4 CONCLUSÃO

Portanto, pode-se concluir que:

- A formação das fases sólidas ocorreu devido ao aumento da relação CaO/SiO₂ e a quantidade de sílica, além da diminuição da quantidade de FeO. A formação destas se mostrou prejudicial ao processo de desfosforação, uma vez que as misturas que apresentam baixa eficiência de desfosforação apresentam formação dessas fases sólidas;
- A razão CaO/FeO se mostrou de grande importância, uma vez que quanto menor a razão, desde que a escória esteja saturada em CaO, menor é a quantidade de fases sólidas formadas, e conseqüentemente, maior é o rendimento.
- As misturas com fases sólidas DP5 a DP8 apresentaram menor eficiência de desfosforação, de 8,0% a 57,1% e, portanto, pode-se concluir que essas fases diminuem a eficiência de desfosforação em processos reais, apesar de reterem mais fósforo no equilíbrio;
- Pela análise das escórias finais foi possível constatar que a mistura desfosforante mais eficiente será aquela que na escória final apresentar: (a) Saturação em CaO, ou seja, atividade do CaO igual a 1; (b) Atividade de FeO maior possível e (c) Maior quantidade de fase líquida possível,

- Pela análise das misturas iniciais a melhor mistura será aquela que tiver: (a) uma quantidade de CaO sólido para manter a escória líquida saturada em CaO até o final do processo; (b) uma maior quantidade de líquido e de FeO, respeitando o item anterior.

Agradecimentos

A FAPES pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- 1 CAMPOS, V. F. Curso sobre Pré-refino de Ferro-Gusa. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1984. 31p.
- 2 RIZZO, E. Introdução aos processos de refino primário dos aços nos convertedores a oxigênio. São Paulo. ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 118p, 2005.
- 3 TURKDOGAN, E.T. Fundamentals of Steelmaking. 1. ed. London: The Institute of Materials, 331p, 1996.
- 4 HEALY, G. W. A new look at phosphorus distribution. Journal of Iron and Steel Institute, v. 208, p. 664-668, 1970.
- 5 PAHLEVANI, F. et al. Distribution of P₂O₅ between solid solution of 2CaO.SiO₂-3CaO.P₂O₅ and liquid phase. ISIJ International, v. 50, p. 822-829, 2010.
- 6 CAMPOS, V. F. Tecnologia de fabricação do aço líquido. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, p. 77-114, 1980.
- 7 LUNDKVIST, K., BRÄMMING, M., LARSSON, M., SAMUELSSON, C. Analysis of metallurgical processes and slag utilisation in an integrated steel plant producing advanced high strength steels. Scanmet IV: 4th International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking, vol 2, pp. 415-424, 2012.
- 8 SUITO, H.; INOUE, R. Phosphorus partition between 2CaO.SiO₂ particles and CaO-SiO₂-FeO slags. ISIJ International, v. 46, No. 2, p. 174-179, 2006a.
- 9 BASU, S.; LAHIRI, A-K.; SEETHARAMAN, S. Distribution of phosphorus and oxygen between liquid steel and basic oxygen steelmaking slag. La Revue de Métallurgie – CIT– Janeiro, p. 21-26, 2009.
- 10 MONAGHAN, B. J.; POMFRET, R. J.; COLEY, K. S. The kinetics of dephosphorization of carbon-saturated iron using an oxidizing slag. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 29 B, p. 111-118, 1998.
- 11 EINSTEIN, A. Eine neue bestimmung der molekuldimensionen. Annales de Physique, v. 19, p. 289-306, 1906.
- 12 ROSCOE, R. The viscosity of suspensions of rigid spheres. British Journal of Applied Physics, v. 3, p. 267-269, 1952.