

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE K_2O NA FORMAÇÃO DE FASES SÓLIDAS EM ESCÓRIAS DESSULFURANTES*

Leticia Costa Macêdo¹
Rodrigo de Oliveira Pezzin²
Diego Santa Rosa Coradin²
Heitor Cristo Clem de Oliveira³
Silas Gambarine Soares³
José Roberto de Oliveira⁴

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo analisar por meio da termodinâmica computacional a influência do K_2O na dissolução das fases sólidas formadas durante o processo de dessulfuração de ferro gusa. Para isso, foi utilizada a cal como agente dessulfurante e a Sodalita (Fonólio) como fundente, realizando uma adição de K_2O no fluxante de 1% a 10%, com uma temperatura de trabalho de 1400°C. Por meio do uso de software de termodinâmica computacional *FactSage*, foi possível simular e avaliar as fases sólidas e líquidas formadas na temperatura determinada e comparar com os resultados obtidos com outras análises. Os resultados obtidos mostraram que o aumento gradativo de K_2O levam a um aumento do potencial termodinâmico de dessulfuração e melhores condições cinéticas, sendo a mistura que apresentou os melhores resultados a que continha 10% de sodalita com adição de 10% de K_2O na fonte.

Palavras-chave: Termodinâmica Computacional; Dessulfuração; Sodalita

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF K_2O CONCENTRATION IN THE FORMATION OF SOLID PHASES IN DESSULFURANT SLAGS

Abstract

This study aims to analyze by means of the computational thermodynamics the influence of K_2O in the dissolution of the solid phases formed during the hot metal desulfurization process. For this, lime were used as a desulphurising agent and sodalite as flux, making additions of K_2O in the flux from 1% to 10%, with a working temperature of 1400 °C. Using *FactSage* computational thermodynamics software, it was possible to simulate and evaluate the solid and liquid phases formed at the determined temperature and compare with the results obtained with other analyzes. The results showed that the gradual increase of K_2O leads to an increase of the thermodynamic potential desulphurization and better kinetic conditions, being the mixture that showed best results the one containing 10% of sodalite with 10% of K_2O

Keywords: Computational Thermodynamics; Dessulfurization; Sodalite.

¹ Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, Espírito Santo e Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, PROPEMM, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, Espírito Santo e Brasil.

³ Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, PROPEMM, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, Espírito Santo e Brasil.

⁴ Professor Doutor do programa de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PROPEMM), Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória, Espírito Santo e Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As exigências cada vez mais rigorosas do mercado consumidor de aço, principalmente com os teores residuais de elementos indesejáveis, tem levado as siderúrgicas a investirem nos processos de pré-tratamento do gusa líquido.

O enxofre é considerado um elemento indesejável no aço por ser prejudicial as propriedades mecânicas, pois provoca uma redução da resistência ao choque (tenacidade), diminuição da aceitação ao dobramento, baixa estampabilidade e fragilidade à quente devido à formação de sulfetos. Porém, a formação de sulfetos, principalmente o sulfeto de manganês (MnS), pode ser benéfica para a usinabilidade do aço. Por isso, tem sido comum em aços para a indústria automobilística, especificar faixas para o teor de enxofre entre 0,015 e 0,030%, ao invés de apenas especificar um valor máximo, como era feito até a década de 90 [1].

Assim, faz-se necessário um pré-tratamento do ferro-gusa líquido entre o Alto Forno e a Aciaria. Na maioria das siderúrgicas, o ferro-gusa é dessulfurado no pré-tratamento e parte da produção de aço é outra vez dessulfurada na panela de refino secundário. Assim, em alguns casos, a dessulfuração é segmentada em três etapas: parte no carro torpedo ou no KR, parte no próprio conversor e parte na panela de refino secundário [2]. Os agentes dessulfurantes mais utilizados na dessulfuração do ferro gusa líquido são a cal e o carbureto de cálcio. O magnésio também é utilizado, porém sua ação é de desoxidação. Um dos componentes utilizados para dessulfuração são os agentes fluidizantes, como por exemplo, a fluorita e o Fonólio (Sodalita), que diminuem o ponto de fusão das escórias e aumentam sua fluidez [3]. Durante o processo de dessulfuração, as principais fases sólidas que podem se formar na escória são: CaO, MgO, silicato di e tricálcio ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ e $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, respectivamente), aluminato tricálcio ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) e sulfeto de cálcio (CaS) [4].

1.1 Objetivo

Avaliar a influência da concentração de K₂O na dissolução das fases solidas formadas em escorias dessulfurantes.

1.2 Revisão Bibliográfica

A fonte principal de enxofre para o ferro-gusa é o coque, sendo o minério de ferro também carrega uma pequena influência na fonte do mesmo, porém em menor quantidade, na forma de sulfetos como FeS, MnS e FeS₂ [5]. A atividade do enxofre aumenta sob atmosfera altamente redutora e a carga metálica contendo elementos dissolvidos, como o carbono e o silício, que por sua vez baixa a concentração de oxigênio (cerca de 10 ppm), favorece a dessulfuração no alto forno. Entretanto, existe uma dificuldade na dessulfuração dos processos posteriores ao forno, que gera uma necessidade de se obter ferro gusa com baixo teor de enxofre em sua composição [6]. Mesmo com a remoção de enxofre durante os processos no alto-forno, os valores obtidos de enxofre no ferro-gusa líquido não atende as especificações dos aços mais sofisticados, que apresente teores cada vez menores de enxofre, que hoje não toleram valores superiores de 0,015% no ferro-gusa, chegando a valores de ordem de 0,001% a 0,003% em aços especiais.

Para situações específicas a presença de enxofre é desejada no aço, como em aços aplicados em usinagem, entretanto na maioria dos processos de sinterização do aço é desejável a maior remoção possível do elemento. Estudos mostram que a

presença do enxofre no aço causa a fragilidade a quente do metal [5], e destacam a influência da alta concentração de enxofre no aço sobre a queda da resistência mecânica. A concentração de manganês também afeta nas propriedades mecânicas do aço, pois são passíveis a reagir com o enxofre formando MnS, sendo menos prejudicial que o enxofre ligado ao ferro, formando FeS. Sendo assim, para evitar a formação de sulfeto de ferro, a relação Mn/S deve ser no mínimo 8.

Há confirmações de que usinas norte-americanas as quais a realização do pré-tratamento do ferro-gusa líquida, é retirado do alto forno com teores de enxofre entre 0,04 e 0,07 e são levados aos conversores LD nas concentrações entre 0,01 e 0,001.

1.2.1 Dessulfuração

Segundo Silva (2002) [7] e Takano (1997) [8], os principais aspectos termodinâmicos e cinéticos da reação de dessulfuração de ferro-gusa são:

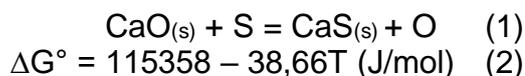
- Escórias com baixo potencial de oxigênio;
- Escórias básicas e saturadas com CaO;
- Escórias fluidas (adições de agente fluidizante sem alterar muito seu poder dessulfurante);
- Composição química de escória de maneira a gerar altas capacidades de sulfeto ou de enxofre, e conseqüentemente, alto coeficiente de partição de enxofre;
- Composição química do ferro-gusa que conduz ao alto coeficiente de atividade de enxofre e baixa atividade de oxigênio (desoxidação com Si ou Al);

Existem diversos métodos de dessulfuração do ferro-gusa, como por exemplo, carro torpedo, em panela, injeção de pós ou por agitação mecânica.

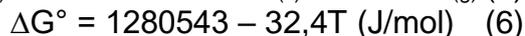
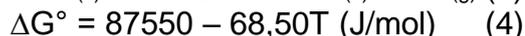
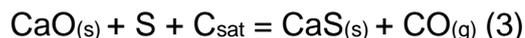
A dessulfuração por agitação, mais conhecida como processo KR – Kambara Reactor foi desenvolvido nos anos 60 e persistiu até o final dos anos 70, quando devido às limitações de refratários para o rotor (impeller), este método deixou de ser competitivo. Porém, no final dos anos 90, seu uso voltou a figurar entre os processos devido ao desenvolvimento de inversores e de novos tipos de refratários, tornando-se assim um método atrativo em função do baixo custo operacional, reduzido tempo de tratamento e boa eficiência.

Basicamente o KR é um processo por agitação mecânica, que combina um rápido processo de redução de enxofre e homogeneidade do banho metálico. Neste método a dessulfuração do gusa ocorre na própria panela de gusa, onde são adicionados elementos dessulfurantes ao banho e este é agitado mecanicamente através de uma pá refratária (Impeller).

A reação da cal com o enxofre presente no ferro-gusa é dada pela Equação 1 [9].



Dependendo do teor de carbono e silício contidos no ferro-gusa, o oxigênio liberado pela reação acima reage com estes elementos conforme as reações 3 e 5 [10] [11] [12].



Onde os elementos sublinhados estão dissolvidos no metal e os elementos entre parênteses estão contidos na mistura dessulfurante quando reagente e na escória quando produtos.

1.2.2 Agentes Dessulfurantes

A cal é o agente dessulfurante mais utilizado industrialmente principalmente pela sua abundância e seu baixo custo com relação a outros agentes dessulfurantes, como o carbureto de cálcio (CaC_2), a barrilha (Na_2CO_3), o magnésio (Mg) e o calcário (CaCO_3). Estes agentes podem ser utilizados separadamente ou em misturas. Além do agente dessulfurante, as misturas utilizadas na dessulfuração de ferro-gusa são também compostas por agentes desoxidantes (borra de alumínio, alumínio e coque) e fundentes, como por exemplo, a fluorita ou a sodalita. A escolha da composição da mistura dessulfurante varia de acordo com a prática aplicada pela indústria e a composição química objetivada para o aço [13].

1.2.3 Sodalita

A sodalita é um sílico-aluminato enriquecido em álcalis (Na_2O e K_2O). Apresenta teores em torno de 50% de SiO_2 , 23% de Al_2O_3 , 12% de Na_2O , 5% de K_2O e residuais de Fe_2O_3 , MgO , CaO e TiO_2 . A formação de fases eutéticas pode ser excluída devido à pequena parte na mistura.

Uma série de experimentos mostrou que, com uma adição de 12 a 15 % em peso de sodalita em uma mistura de cal e carbureto, o peso da escória retirada de uma panela com cerca de 240 toneladas de ferro-gusa é reduzido em média de 1,94 a 3,0 toneladas, ou seja, reduzindo a perda metálica na escória. A ação dessulfuradora do produto de dessulfuração é melhorada de 8 a 15 %. Contudo, esses experimentos confirmam que o produto de dessulfuração deve conter de 10 a 20% de cal livre para se alcançar uma melhor ação dessulfuradora [3].

Quando adicionados a soluções de óxidos, os álcalis reproduzem algumas das características da fluorita: em geral, abaixam o ponto de fusão da escória e aumentam sua fluidez, assim como promovem um maior ataque ao refratário (em um mecanismo semelhante ao abaixamento do ponto de fusão da escória). Este ataque pode ser agravado pela volatilização dos álcalis durante o processo (devido à alta pressão de vapor desses elementos), que se acumulam nas paredes dos refratários. No entanto, estes álcalis têm ainda uma característica que os diferem da fluorita: devido ao elevado caráter básico, são excelentes fixadores de fósforo e de enxofre nas escórias.

A sodalita pode ser utilizada em duas etapas do processo de fabricação de aço: no convertedor ou na metalurgia da panela. Cabe ressaltar um fator positivo na utilização da sodalita em relação à fluorita. O teor de sílica presente nesse mineral impede a utilização em excesso, pois este teor elevado altera as propriedades da escória, prejudicando as reações do refino. A fluorita, quando utilizada em excesso, não altera as propriedades das escórias, no tocante às reações de refino, porém,

eleva o desgaste refratário, ou seja, o excesso de fluorita pode trazer um efeito cinético positivo com prejuízo para os custos de refratários das aciarias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Elaboração das misturas dessulfurantes

As misturas dessulfurantes propostas tem como base a utilização de cal como agente dessulfurante e a sodalita como fundente, sendo utilizado a proporção de mistura de 10kg de escória para cada tonelada de gusa. Na sodalita foi acrescentado pequenas concentrações (1% a 10%) de K_2O . Sendo assim, as misturas dessulfurantes foram simuladas da seguinte maneira:

1. Adição de 10% de fonte de sodalita a fonte de CaO ;
2. Adição de 10% de fonte de sodalita e 1% de K_2O a fonte de CaO ;
3. Adição de 10% de fonte de sodalita e 2% de K_2O a fonte de CaO ;
4. Adição de 10% de fonte de sodalita e 3% de K_2O a fonte de CaO ;
5. Adição de 10% de fonte de sodalita e 4% de K_2O a fonte de CaO ;
6. Adição de 10% de fonte de sodalita e 5% de K_2O a fonte de CaO ;
7. Adição de 10% de fonte de sodalita e 6% de K_2O a fonte de CaO ;
8. Adição de 10% de fonte de sodalita e 7% de K_2O a fonte de CaO ;
9. Adição de 10% de fonte de sodalita e 8% de K_2O a fonte de CaO ;
10. Adição de 10% de fonte de sodalita e 9% de K_2O a fonte de CaO ;
11. Adição de 10% de fonte de sodalita e 10% de K_2O a fonte de CaO ;
12. Adição de 5% de fonte de sodalita a fonte de CaO ;
13. Adição de 5% de fonte de sodalita e 1% de K_2O a fonte de CaO ;
14. Adição de 5% de fonte de sodalita e 2% de K_2O a fonte de CaO ;
15. Adição de 5% de fonte de sodalita e 3% de K_2O a fonte de CaO ;
16. Adição de 5% de fonte de sodalita e 4% de K_2O a fonte de CaO ;
17. Adição de 5% de fonte de sodalita e 5% de K_2O a fonte de CaO ;
18. Adição de 5% de fonte de sodalita e 6% de K_2O a fonte de CaO ;
19. Adição de 5% de fonte de sodalita e 7% de K_2O a fonte de CaO ;
20. Adição de 5% de fonte de sodalita e 8% de K_2O a fonte de CaO ;
21. Adição de 5% de fonte de sodalita e 9% de K_2O a fonte de CaO ;
22. Adição de 5% de fonte de sodalita e 10% de K_2O a fonte de CaO ;

A Tabela 1 contém a composição do Gusa utilizada no processo

Tabela 1. Composição do Gusa (%)

Fe	C	Si	P	S
95.28	4.3	0.3	0.09	0.03

A tabela 2 contém a composição da Sodalita utilizada no processo

Tabela 2. Composição da Sodalita (%)

SiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3
51.94	14.07	6.39	1.08	3.79	22.73

Baseado na composição química das matérias primas, foi feito um balanço de massa que levou em conta a quantidade de cada elemento na mistura proposta. A tabela 3 contém a composição química em massa.

Tabela 3. Composição das misturas (g)

Misturas	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O Add
1	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.000
2	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.010
3	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.020
4	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.030
5	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.040
6	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.050
7	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.060
8	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.070
9	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.080
10	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.090
11	10.000	0.519	0.141	0.064	0.011	0.038	0.227	0.100
12	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.000
13	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.005
14	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.010
15	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.015
16	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.020
17	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.025
18	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.030
19	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.035
20	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.040
21	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.045
22	10.000	0.260	0.070	0.032	0.005	0.019	0.114	0.050

A tabela 4 contém a composição química em porcentagem das misturas dessulfurantes após o balanço de massa.

Tabela 4. Composição das misturas (%)

Misturas	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O Add	Total
1	90.909	4.722	1.279	0.581	0.098	0.345	2.066	0.000	100
2	90.827	4.718	1.278	0.580	0.098	0.344	2.064	0.091	100
3	90.744	4.713	1.277	0.580	0.098	0.344	2.063	0.181	100
4	90.662	4.709	1.276	0.579	0.098	0.344	2.061	0.272	100
5	90.580	4.705	1.274	0.579	0.098	0.343	2.059	0.362	100
6	90.498	4.700	1.273	0.578	0.098	0.343	2.057	0.452	100
7	90.416	4.696	1.272	0.578	0.098	0.343	2.055	0.542	100
8	90.334	4.692	1.271	0.577	0.098	0.342	2.053	0.632	100
9	90.253	4.688	1.270	0.577	0.097	0.342	2.051	0.722	100
10	90.171	4.683	1.269	0.576	0.097	0.342	2.050	0.812	100
11	90.090	4.679	1.268	0.576	0.097	0.341	2.048	0.901	100
12	95.238	2.473	0.670	0.304	0.051	0.180	1.082	0.000	100
13	95.193	2.472	0.670	0.304	0.051	0.180	1.082	0.048	100
14	95.147	2.471	0.669	0.304	0.051	0.180	1.081	0.095	100
15	95.102	2.470	0.669	0.304	0.051	0.180	1.081	0.143	100
16	95.057	2.469	0.669	0.304	0.051	0.180	1.080	0.190	100
17	95.012	2.467	0.668	0.304	0.051	0.180	1.080	0.238	100
18	94.967	2.466	0.668	0.303	0.051	0.180	1.079	0.285	100
19	94.922	2.465	0.668	0.303	0.051	0.180	1.079	0.332	100
20	94.877	2.464	0.667	0.303	0.051	0.180	1.078	0.380	100
21	94.832	2.463	0.667	0.303	0.051	0.180	1.078	0.427	100
22	94.787	2.462	0.667	0.303	0.051	0.180	1.077	0.474	100

2.2 Simulações utilizando Termodinâmica Computacional

As simulações foram feitas no *software* FactSage . Foram calculadas as frações de líquido e sólido, bem como suas composições. As simulações foram realizadas na temperatura de 1400°C e pressão de 1 atm. Além disso, as condições do equilíbrio entre a escória e o metal líquido foram simuladas, sendo possível obter valores como composição química da escória no equilíbrio, fração de líquido e sua composição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a simulação das misturas dessulfurantes no FactSage pode-se observar a influência do K₂O em relação ao enxofre, fase líquida, CaO e fases sólidas formadas (3CaO.SiO₂).

3.1 Influência do K₂O no enxofre de equilíbrio no gusa

A figura 1A mostra a variação do enxofre de equilíbrio em relação ao K_2O adicionado em 5% de sodalita, que são as misturas de 12 até 22. Já a figura 1B mostra a variação de enxofre de equilíbrio em relação a K_2O adicionado em 10% de sodalita, que são as misturas de 1 até 11.

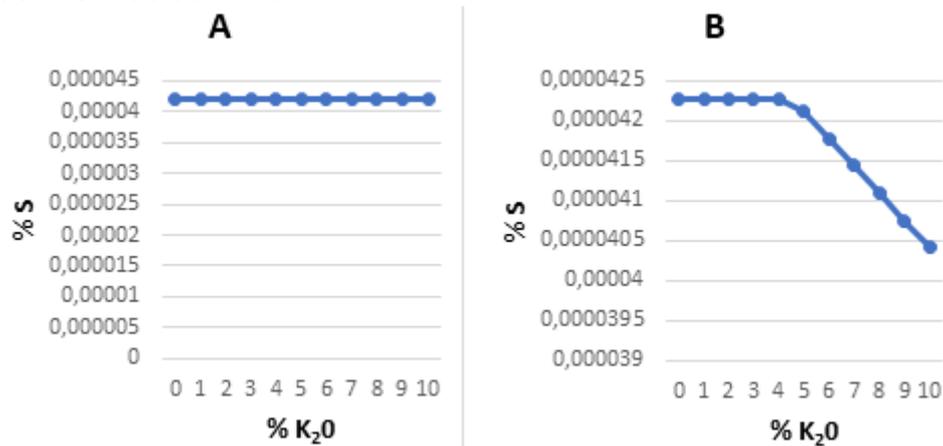


Figura 1. %S relacionado com %K₂O adicionado na sodalita. O gráfico A contém 5% de sodalita na mistura e o gráfico B contém 10% de sodalita na mistura

Ao analisar a figura 1A, que contém as misturas com apenas 5% de sodalita, notou-se que as misturas não obtiveram quantidade de K_2O suficiente para gerar alterações significativas nos valores de enxofre de equilíbrio.

Analisando a figura 1B, observa-se que o teor de enxofre diminuiu mais acentuadamente a partir da Mistura 6. A mistura 11(10% de K_2O em 10% de sodalita) foi a que resultou em um menor teor de enxofre.

3.2 Influência do K_2O na fase líquida

A figura 2A mostra a variação da fase líquida em relação ao K_2O adicionado em 5% de sodalita. Já a figura 2B mostra a variação da fase líquida em relação a K_2O adicionado em 10% de sodalita.

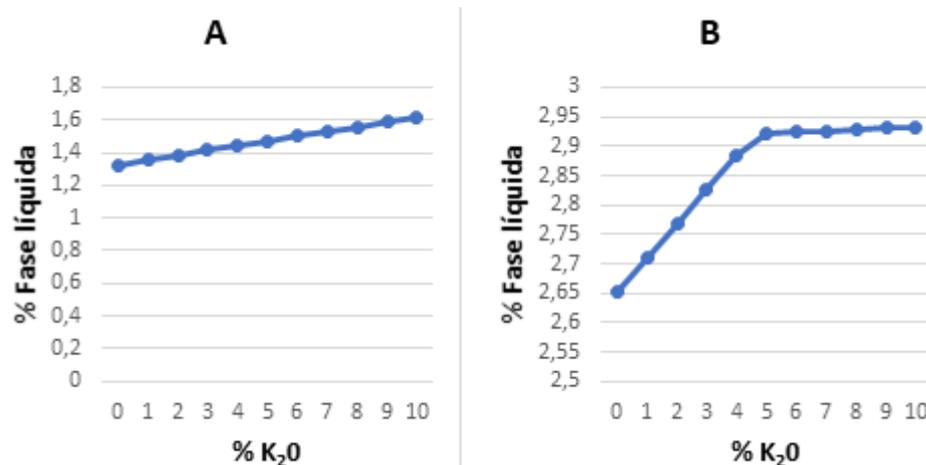


Figura 2. %Fase líquida relacionado com %K₂O adicionado na sodalita. O gráfico A contém 5% de sodalita na mistura e o gráfico B contém 10% de sodalita na mistura

Analisando a figura 2A e 2B, observa-se que a medida em que acrescenta K_2O na mistura dessulfurante há maior formação de fase líquida. Nota-se também, que

ocorre uma variação pequena de fase líquida entre as misturas de 6 a 11. A mistura 11 formou mais fase líquida.

Niedringhaus e Fruehan (1988) [4], afirmam que o aumento da concentração de fluorita de 5 para 10% eleva a quantidade de líquidos da escória, eliminando os silicatos e aluminatos de cálcio, além do CaS que se forma envolta da partícula de CaO durante a reação de dessulfuração. Assim, esses compostos não agiriam de forma a limitar a reação.

Observou-se que o mesmo se aplica a sodalita sem a adição de K_2O . A concentração de 5% de sodalita formou 1,326% de fase líquida, enquanto a concentração de 10% de sodalita obteve 2,653% de fase líquida. Para Silva (2012), a sodalita diminui o ponto de fusão das escórias e aumentam sua fluidez.

A adição de K_2O influenciou de forma positiva na formação de fase líquida. A mistura 11, com 10% de K_2O em 10% de sodalita, formou 2,933% de fase líquida. Analisando os gráficos 1B e 2B nota-se que, enquanto o K_2O age para gerar um aumento acentuado da fase líquida (misturas de 1 a 6), ele gera uma queda pouco acentuada do enxofre de equilíbrio do gusa. Essa situação se inverte, posteriormente.

3.3 Influência do K_2O nas fases sólidas

A tabela 5 mostra as fases sólidas formadas no equilíbrio das misturas com gusa.

Tabela 5. Equilíbrio das misturas com o gusa (%)

Mistura	Composição da fase sólida		Mistura	Composição da fase sólida	
	CaS	3CaO.SiO ₂		CaS	3CaO.SiO ₂
1	7.693	3.804	1	7.294	7.024
2	7.736	2.990	2	7.042	6.932
3	7.779	2.171	3	7.059	6.570
4	7.821	1.347	4	7.077	6.208
5	7.866	0.515	5	7.095	5.846
6	7.890	0.000	6	7.113	5.483
7	7.883	0.000	7	7.130	5.120
8	7.876	0.000	8	7.148	4.756
9	7.869	0.000	9	7.166	4.392
10	7.862	0.000	10	7.184	4.027
11	7.855	0.000	11	7.202	3.662

Ao observar a tabela acima nota-se a formação de CaS e 3CaO.SiO₂. Essas fases estão condizentes com as que Grillo (2014) [14], Lindström e Sichen (2014) [15], Niedringhaus e Fruehan (1988) [4] encontraram em seus estudos.

A figura 3a mostra a variação de 3CaO.SiO₂ em relação ao K_2O adicionado em 5% de sodalita. Já a figura 3b mostra a variação de 3CaO.SiO₂ em relação a K_2O adicionado em 10% de sodalita.

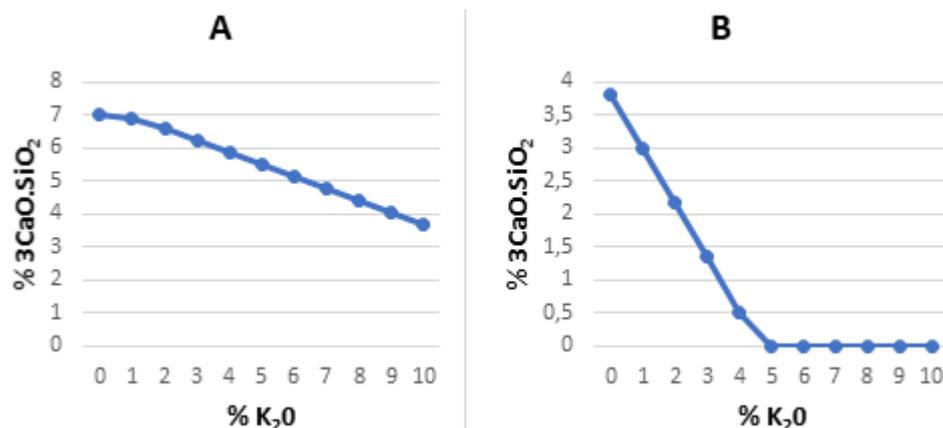


Figura 3. %3CaO.SiO₂ relacionado com %K₂O adicionado na sodalita. O gráfico A contém 5% de sodalita na mistura e o gráfico B contém 10% de sodalita na mistura

Analisando a figura 3A e 3B, observa-se que 10% de sodalita apresentou menor teor de fase sólida que a concentração de 5% de sodalita.

De acordo com Soares 2016 [16], a mistura com 10% de Sodalita foi mais eficiente comparado com a que tem 5% de Sodalita. Isto ocorreu devido a menor formação da a fase sólida 3CaO.SiO₂.

Pode-se observar pela figura 3B que as misturas de 6 a 11 não formaram 3CaO.SiO₂. Este fato ocorre devido ao aumento da concentração de K₂O na sodalita.

De acordo com Grillo 2014 [14], uma melhor mistura dessulfurante, deve apresentar:

- 2 Maior percentual de fase líquida e, conseqüentemente, menor porcentagem da fase sólida.
- 3 Menor formação de silicato tricálcico composto (3CaO.SiO₂).
- 4 Menor formação de aluminato tricálcico composto (3CaO.Al₂O₃).
- 5 Maior concentração de CaO na escória.

Isto se deve ao fato de que um aumento na percentagem da fase líquida, permite a dissolução do CaS e do 3CaO.SiO₂ formados, ajudando a impedir a formação de uma camada sólida em torno da partícula CaO, o que dificulta a transferência da massa S no metal até à partícula CaO.

Lindström e Sichen (2014) [15] descrevem que no processo de dessulfuração é comum a formação de uma camada de (CaS, 2CaO.SiO₂, 2CaO.Al₂O₃) em volta das partículas de CaO a medida que o processo dessulfuração evolui. Impedindo assim, a transferência da massa S para a partícula CaO.

Grillo (2014) [14] comparou misturas de CaO-fluorita e CaO-sodalita e notou que aqueles com uma maior quantidade de fase líquida e uma menor quantidade de fase sólida (3CaO.SiO₂ e 3CaO.Al₂O₃) tinham uma maior eficiência de dessulfurização.

4 CONCLUSÃO

Ao avaliar a influência da concentração de K_2O na dissolução das fases sólidas formadas em escórias dessulfurantes pode-se concluir que:

- As fases sólidas formadas foram Ca_2O , CaS e $3CaO.SiO_2$
- Com o aumento do teor da sodalita de 5% a 10% e com o aumento gradativo de K_2O , obteve-se uma redução das concentrações de fase sólida ($3CaO.SiO_2$) e enxofre, enquanto as concentrações de fase líquida e CaO aumentaram.
- A mistura 11, com a adição de 10% de fonte de sodalita e 10% de K_2O a fonte de CaO , apresentou maior potencial termodinâmico de dessulfuração e melhores condições cinéticas.

Agradecimentos

Agradeço a FAPES, CAPES e CNPq que sempre apoiaram financeiramente projetos na área da engenharia metalúrgica, no IFES. Agradeço também ao IFES, pela utilização de equipamentos e laboratórios.

REFERÊNCIAS

- 1 Colpaert H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2008. 171p.
- 2 Campos VF. Curso sobre Pré-refino de Ferro-Gusa. 1. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1984. 31p.
- 3 Silva MA. Avaliação da utilização de agentes dessulfurantes a base de carbureto de cálcio contendo sodalita em substituição à fluorita em carro torpedo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte: UFMG, 2012. 98p.
- 4 Niedringhaus JC, Fruehan, RJ. Reaction Mechanism for the $CaO-Al$ and $CaO-CaF_2$ Desulfurization of Carbon-Saturated Iron. Metallurgical Transactions B, v. 19B, 1988. 261-268 p
- 5 Campos VF. Tecnologia de Fabricação do Aço Líquido. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1985. 259 p.
- 6 Lanna AA. Análise do Comportamento do Enxofre e de sua Retenção pela Escória no Interior do Alto-Forno. Dissertação de Mestrado Submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG. Belo Horizonte, 1981.
- 7 Silva AC, Silva IA. Estudo Comparativo do Pré-Tratamento do Gusa Líquido em Reatores Diversos: Carro Torpedo vs Reator Kambara. Projeto de Pesquisa, Belo Horizonte: FAPEMIG, 2002.
- 8 Takano C. Termodinâmica e Cinética no Processo de Dessulfuração de Ferro e Aço. Conferência Internacional sobre Dessulfuração e Controle de Inclusões da ABM, 1997. 1-18 p.
- 9 Anderson M, Jonsson P, Hallberg M. Optimization of ladle slag composition by application of sulphide capacity model. Ironmaking and Steelmaking, n. 4, v. 27, 2000. 286-293 p
- 10 Turkdogan ET. Fundamentals of Steelmaking. 1. ed. London: The Institute of Materials, 1996. 331p.
- 11 Saxena SK. Mechanism of Sulphur Removal in Hot Metal by Using Soda, Lime, Calcium Carbide and Magnesium Based Reagents. Conferência Internacional sobre Dessulfuração e Controle de Inclusões da ABM. Volta Redonda, RJ, 1997, 135-162 p
- 12 Visser H, Boom R. Advanced Process Modelling of Hot Metal Desulphurisation by Injection of Mg and CaO . ISIJ International, n. 12, v. 46, p. 1771-1777, 2006.

- 13 Kirmse OJ. Estudo do Comportamento Metalúrgico do "Reator Kambara" através de Modelagem Física. Dissertação de Mestrado Submetida a REDEMAT: UFOP-CETEC-UEMG. Ouro Preto, 2006.
- 14 Grillo FF. Análise de dessulfuração de ferro-gusa com misturas do CaO-fluorita e CaO-sodalita com o uso de termodinâmica computacional. Revista Escola de Minas, 2013; 66 (4): 461-465.
- 15 Lindstrom D. A study on desulfurization of hot metal using different agents. Doctoral thesis. School of Industrial Engineering and Management. Department of Materials Science and Engineering. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2014, (pp. 12-38).