

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE E CAREPA DE AÇO COMO DESFOSFORANTE DE FERRO GUSA<sup>1</sup>

*José Roberto de Oliveira<sup>2</sup>  
Jorge Alberto Soares Tenório<sup>3</sup>  
Rafael de Mello Pieslak<sup>4</sup>*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da utilização de resíduos na desfosforação de gusa. Dois tipos de resíduos foram estudados: resíduo proveniente do corte de mármore, e carepas gerada na laminação e lingotamento dos aços. Para a caracterização do resíduo de mármore foi coletada uma amostra de 5kg em uma empresa do setor e realizado análise química e granulométrica. A carepa foi caracterizada somente através de análises químicas. Foi feita a simulação do processo de desfosforação usando-se termodinâmica computacional para se verificar a possibilidade da utilização destes materiais como desfosforantes, na etapa de pré-tratamento de gusa.

**Palavras-chave:** Carepa; Resíduo de mármore; Desfosforação; Pré-tratamento de gusa.

## **THE USE OF MARBLE WASTE AND STEEL SCALE IN THE DEPHOSPHORIZATION OF HOT METAL**

## **Abstract**

The aim of this work is to study the technique used to hot metal dephosphorization. Two different kinds of wastes were studied: waste from marble cutting and scale. The marble waste was characterized through chemical analysis and size separation. The studied scale was characterized through chemical analysis . A simulation of the process was performed using computational thermodynamics, in order to verify the possibility to use these two wastes as dephosphorization agents, in the pre-treatment of hot metal.

**Key words:** Scale; Marble waste; Dephosphorization; Hot metal pre-treatment

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Professor Doutor da Coordenadoria de Metalurgia e Materias do CEFET-ES, Vitória, ES*

<sup>3</sup> *Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materias da Escola.Politécnica USP;*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalurgista. Aluno do programa de mestrado do Depto de Eng Metalurgica e de Materiais da Escola.Politécnica da USP*

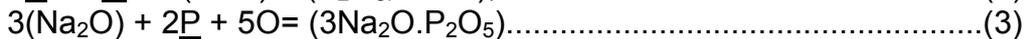
# 1 INTRODUÇÃO

Os processos de desfosforação do ferro-gusa durante a fabricação de aço, via processos BOF (*Basic Oxigen Furnace*), seguem basicamente duas rotas. Uma delas é a desfosforação realizada juntamente com a dessiliciação e a descarburização no convertedor, como é feito no Brasil; e a outra é a desfosforação sendo realizada como uma etapa à parte do processo, separada da dessiliciação e da descarburização, nas etapas de pré-tratamento de gusa, como é feito no Japão.<sup>(1,2)</sup>

Porém, em qualquer uma destas rotas, são usados como desfosforantes, uma fonte de óxido de ferro (FeO) e outra fonte de CaO, além de outros elementos usados para melhorar a eficiência da desfosforação. Outro ponto importante a ressaltar nestas duas rotas, é que a realização da desfosforação no pré-tratamento de gusa gera menos escória que a utilização da outra rota. Este trabalho, portanto, estuda a possibilidade da utilização de resíduo de mármore que possui entre outros elementos, teores de CaO variando de 49,8 a 38% na forma de CaCO<sub>3</sub>, e carepa como fonte de FeO.

## 1.1 Desfosforação na Etapa de Pré-tratamento de Ferro-gusa

As principais reações de desfosforação são:



Porém, a atividade P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na reação (1), é sempre maior que sua atividade de equilíbrio (aproximadamente 5.10<sup>-12</sup>), o que faz com que a reação não tenha condições termodinâmicas de ocorrer. Por isto é necessário adicionar CaO ou Na<sub>2</sub>O que irão formar compostos com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, diminuindo sua atividade, e criando condições termodinâmicas para que a desfosforação ocorra.

Portanto, para desfosforar é preciso uma fonte de oxigênio (na forma de gás ou na forma de FeO), para a formação do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e uma fonte de CaO ou Na<sub>2</sub>O para fixar o fósforo na escória através da diminuição da atividade do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O propósito de fazer a desfosforação na etapa de pré-tratamento de gusa, é aproveitar as melhores condições termodinâmicas que esta etapa oferece ao processo, que são:<sup>(2)</sup>

- baixas temperaturas do gusa (1.300 a 1.400<sup>0</sup> C); ao invés de uma temperatura em torno de 1.600<sup>0</sup> C obtidas nos processo onde a desfosforação (DeP) é feita juntamente com a dessiliciação (DeSi) e a descarburização (DeC), como no caso do Brasil, onde a desfosforação é realizada juntamente com estas operações no convertedor em um única etapa; e
- altos teores de carbono (em torno de 4,2%) no ferro gusa, que aumenta atividade do fósforo, pois o coeficiente de interação do carbono no fósforo varia de 0,126 a 0,275; ocorrendo um aumento no valor do coeficiente à medida que aumenta a temperatura.<sup>(3)</sup> Segundo o autor, para teores de carbono abaixo de 2%, a influência do carbono na atividade do fósforo não é tão acentuada.

Em função destes fatores, a desfosforação quando realizada na etapa de pré-tratamento de gusa, têm uma maior eficiência termodinâmica, permitindo a obtenção de menores teores de fósforo no metal com uma geração de escória menor que quanto feita no aço.

Por estes motivos, várias empresas japonesas<sup>(1-5)</sup> (entre elas a Nippon Steel, NKK Corporation, JFE Steel Corporation, Sumitomo Metal) realizam não somente o DeP, mas como também a DeSi, além da DeS na etapa de pré-tratamento de gusa.

O pré-tratamento de gusa da Nippon Steel,<sup>(2)</sup> é feito de três diferentes formas que são descritas a seguir:

1- DeSi no canal de corrida, e ou no próprio carro torpedo onde o Si final é baixado para 0,12%, seguida de desfosforação através da adição de CaO e óxido de ferro no carro torpedo;

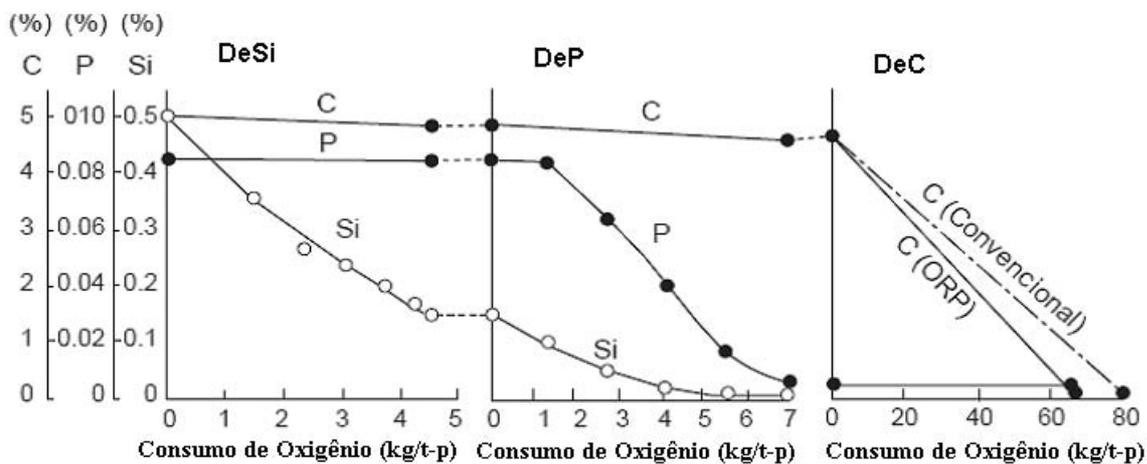
2- DeSi no carro torpedo onde o Si final é baixado para 0,12%, seguida de desfosforação através da adição de CaO e óxido de ferro na panela de gusa;

3- DeSi e DeP no convertedor, através da adição de CaO e óxidos de ferro. Pode haver também a injeção de oxigênio, e a utilização de sucata como refrigerante. Para realização da DeC, é usado outro convertedor, ou a eliminação total da escória do processo anterior.

Segundo os autores ocorre a redução de 25% na geração de escória (aproximadamente 80 kg/tonelada de aço), com relação aos processos onde há somente a DeS no gusa.

Porém o pré-tratamento de gusa da Nippon Steel está evoluindo para o processo MURC(MULTIREFINING CONVETER),<sup>(2)</sup> onde a DeSi, desfosforação e DeC são realizados no mesmo convertedor. Neste processo ocorre a imediata remoção de escória após a desfosforação, e a reciclagem da escória formada na DeC no processo de desfosforação. Este procedimento permite a diminuição de 50% do volume de escória gerada se comparado como processo convencional. De acordo com os autores<sup>(2)</sup> não há diminuição na quantidade de sucata carregada no convertedor, deste que isto ocorra antes da desfosforação, e o tempo total do processo é de 35 minutos.

A diminuição do teor de Si no banho, é feito para se ter condições termodinâmicas para a desfosforação. Segundo Fruehan,<sup>(6)</sup> a desfosforação só ocorrerá para teores de Si no banho abaixo de 0,15%. A Figura 1 mostra resultados experimentais que confirmam esta relação



**Figura 1.** Eliminação de silício, fósforo e carbono do ferro-gusa segundo Fruehan.<sup>(6)</sup>

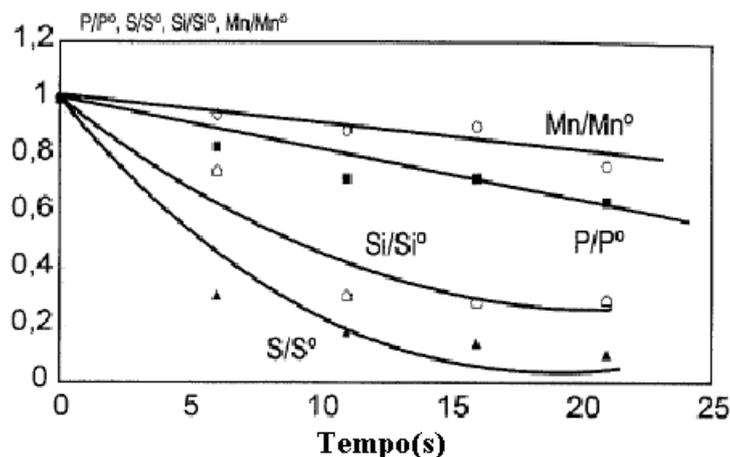
Hernandez et al.<sup>(7)</sup> estudaram a influência do teor de Si no banho na desfosforação, usando dois teores de Si; 0,6% e 0,16%; e mediram a variação do teor de fósforo no banho com o tempo para ambos os casos.

Além disto, os autores calcularam a variação de energia livre para diferentes reações para o teor de Si = 0,6 e temperatura de 1350<sup>o</sup> C, como mostra a Tabela 1, mostrando que o SiO<sub>2</sub> é mais estável termodinamicamente que o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nestas condições.

**Tabela 1.** Variação de energia livre para formação da SiO<sub>2</sub>, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.<sup>(7)</sup>

Reações	$\Delta G_{1350^\circ}$
Si <sub>(liq)</sub> + O <sub>2(g)</sub> = SiO <sub>2(s)</sub>	- 476.740 kJ/mol
P <sub>(liq)</sub> + 5/4 O <sub>2(g)</sub> = PO <sub>5/2(s)</sub>	- 301.368 kJ/mol
Mn <sub>(liq)</sub> + 1/2 O <sub>2(g)</sub> = MnO <sub>(s)</sub>	- 190.712 kJ/mol

Pelos cálculos da variação de energia livre, e pela análise dos gráficos, segundo os autores,<sup>(7)</sup> a DeP só ocorre, para teores de Si abaixo de 0,2. A Figura 3 mostra a variação de Si, Mn e P no banho para um teor de Si inicial = 0,16%.



**Figura 3.** Variação dos teores de Mn, P e Si no metal com o tempo, onde Mn<sup>0</sup>, P<sup>0</sup> e Si<sup>0</sup>, é o teor inicial.

## 1.2 Resíduos de Mármore

Mármore são rochas cristalinas carbonatadas, subdivididas em dois tipos; calcícticas (formadas por CaCO<sub>3</sub>) e dolomíticas (constituídas por CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>), que se diferem da dolomita comum por possuírem estrutura cristalina, quando a última é amorfa.<sup>(8,9)</sup> Possuem uma ampla faixa de composição química que varia de acordo com a região de ocorrência e até mesmo do lugar em uma mesma jazida. A Tabela 2 mostra a faixa de composição dos mármore da empresa MARSAL S.A.<sup>(10)</sup>

**Tabela 2 .** Faixa de composição química dos mármore da MARSAL S.A.<sup>(10)</sup>

Composição	Peso (%)	Composição	Peso (%)
CaO	49,8 – 38,0	RI	1,5
MgO	3,6 - 13,6	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03
SiO <sub>2</sub>	0,2	TiO <sub>2</sub>	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	PF	44,6

O resíduo de mármore estudado no presente trabalho, foi gerado durante o corte dos blocos de mármore, numa etapa chamada de desdobramento. Este corte é feito principalmente com fio diamantado, e o resíduo têm praticamente a mesma composição do bloco de mármore. Por ser um processo de corte, a granulometria do resíduo é muito pequena, como será mostrado no item resultados e discussão.

No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo do corte de mármore e granito é de 240.000 t/ ano, distribuída entre o Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte.<sup>(11)</sup> Admitindo-se que 17% deste total é de resíduos de mármore, chega-se à quantidade de 40.800 toneladas de resíduo de mármore por ano no Brasil.

### 1.3 Carepa

Carepas são óxidos de ferro ( FeO principalmente, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) formados pela oxidação da superfície do aço, principalmente durante a laminação e o lingotamento contínuo.

Cunha et al.<sup>(12)</sup> caracterizaram a carepa gerada no processo da Siderúrgica Gerdau de Barão de Cocais com relação aos óxidos de ferro e à sua composição química; cujos resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3.** Composição dos óxidos de ferro presentes na carepa gerada na Gerdau unidade Barão de Cocais.<sup>(12)</sup>

Origem da carepa	FeO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%)	Fe total (%)
Lingotamento contínuo (pátio)	66,1	2,8	30,3	75,3
Lingotamento contínuo (beneficiada)	62,1	3,4	33,8	75,1
Laminação (pátio)	66,3	2,9	30,1	75,3
Laminação (beneficiada)	60,8	4,4	34,0	74,9

**Tabela 4.** Composição química elementar da carepa gerada na Gerdau unidade Barão de Cocais.<sup>(12)</sup>

Origem da carepa	Si (%)	Mn (%)	P (%)	Al (%)	Ti (%)	Ca (%)	Mg (%)
Lingotamento contínuo	0,28	0,49	0,021	0,06	0,002	0,02	0,01
Laminação	0,43	0,49	0,020	0,15	0,003	0,03	0,01

As características químicas e físicas do resíduo de mármore e da carepa sugerem a possibilidade de suas utilizações como desfosforante.

A carepa por possuir altos teores de óxidos de ferro e baixos de contaminantes como mostram as Tabelas 3 e 4 é uma ótima fonte de oxigênio para a formação do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Devido a seus altos teores de CaO, e sua baixa granulometria como mostrado nas Tabelas 2 e 3, o resíduo de mármore apresenta a princípio, características que permitem sua utilização como desfosforante. Uma possível restrição a esta utilização seria a presença de MgCO<sub>3</sub>, e o CaO estar na forma de CaCO<sub>3</sub>. Porém no item resultados e discussão que serão apresentados posteriormente, será mostrado que estas características podem ser benéficas ao processo de desfosforação.

## 2 METODOLOGIA

Para este trabalho foi usada uma amostra de resíduo de mármore, fornecida pela Mineração Capixaba na quantidade de 5 kg, e uma amostra de carepa gerada no processo da Siderúrgica Belgo-Arcelor Brasil, Usina Grande Vitória, na quantidade de 20kg.

O resíduo de mármore foi todo seco em estufa a 100<sup>0</sup>C, quartiado para retirada de amostra para análise química e difração de Raios X, e peneirado para a classificação granulométrica.

A secagem e preparação de amostra foi realizada no CEFETES e as análises químicas no Laboratório CELQA.

Já a carepa foi homogeneizada e quarteada para retirada de 200 gramas de amostra, para a realização de análises químicas, e o restante enviada para a empresa RECICLOS, localizada em Timóteo, para a realização da briquetagem.

Para simular a desfosforação do aço, foi usado o programa THERMOCALC, considerando a adição de CaO puro e FeO, e resíduo contendo CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, com 5% de MgCO<sub>3</sub>.

As condições iniciais de cada simulação são mostradas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Condições iniciais para o cálculo da desfosforação usando o THERMOCALC.

Simulação	T ( K )	CaO(g)	FeO(g)	MgO(g)	P(%)	C(%)	Resíduo(g)
1	1873	3375	5781,25	0	0,1	4,2	0
2	1573	3375	5781,25	0	0,1	4,2	0
3	1473	3375	5781,25	0	0,1	4,2	0
4	1873	3375	5781,25	151	0,1	4,2	9197,85
5	1573	3375	5781,25	151	0,1	4,2	9197,85
6	1473	3375	5781,25	151	0,1	4,2	9197,85

As simulações 1, 2 e 3 foram realizadas para verificar a influência da temperatura na desfosforação, considerando que foi usado como fonte de CaO cal pura, e as de 4 a 6 usando resíduo.

Se forem comparadas as simulações de a 1 a 3 com as de 4 a 6, percebe-se a influência da adição do resíduo na desfosforação. Foi suposto um banho de 1000g, e admitido que o resíduo usado possui 5% de MgCO<sub>3</sub>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos materiais

A Tabela 6 mostra o resultado da análise química do resíduo de mármore coletado na MINERAÇÃO CAPIXABA.

**Tabela 6.** Composição química do resíduo de mármore gerado na MINERAÇÃO CAPIXABA.

Parâmetro analisado	% em massa
Cálcio – Ca	24,3
Carbonato de cálcio- CaCO <sub>3</sub>	59,7
Magnésio- Mg	11,7
Carbonato de magnésio- mgco <sub>3</sub>	37,2
SiO <sub>2</sub>	2,5
Perda ao fogo (1050° C).	43,6

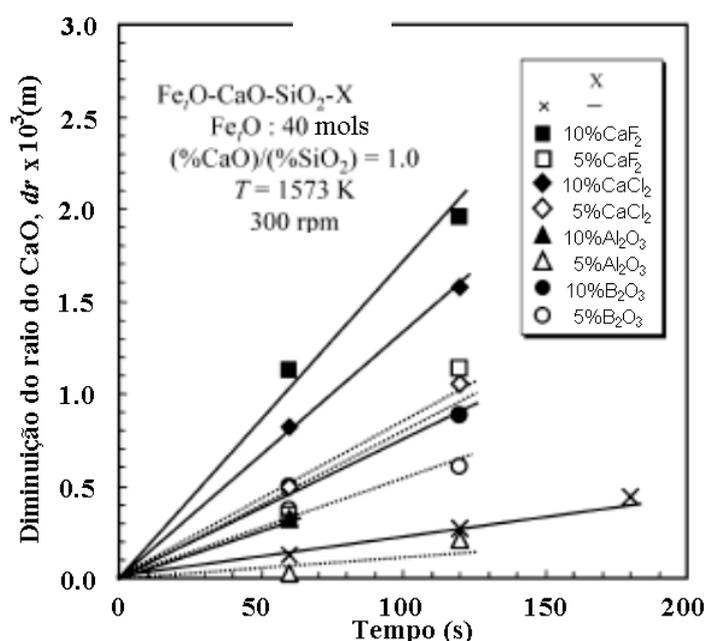
Pela análise da Tabela, nota-se que os dois principais componentes presentes no mármore e consequentemente no resíduo proveniente de seu corte, são o CaO na forma de CaCO<sub>3</sub>, e o MgO na forma de MgCO<sub>3</sub>.

A Tabela 7 mostra a classificação granulométrica do resíduo coletado na MINERAÇÃO CAPIXABA.

**Tabela 7.** Distribuição granulométrica do resíduo de mármore

Peneiras (mm)	Porcentagem retida(%)
> 1	5,26
0,71	6,91
0,5	5,78
0,25	13,74
0,18	49,44
0,125	16,1
0,075	2,36
0,062	0,28
< 0,062	0,06

Nota-se que a granulometria está compreendida entre 1,0 e 0,062mm, ficando a maior parte na faixa entre 0,25 e 0,18 mm. Isto demonstra que o resíduo está em condições para ser injetado no banho, e que a dissolução do CaO no banho, ocorre totalmente em menos de 60 segundos, para uma temperatura de 1573K, conforme mostra a Figura 4, segundo HAMANO et al.<sup>(13)</sup>.



**Figura 4.** Variação no tempo de dissolução da cal no ferro gusa em função do tamanho das partículas.<sup>(13)</sup>

A análise química da carepa com relação aos óxidos de ferro e principais elementos são mostrados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Análise química, da carepa proveniente da Siderúrgica Belgo-Arcelor Brasil, Usina Grande Vitória.

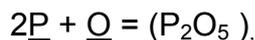
Parâmetro analisado	% em massa	
Fe	Ferro total	69,5
$Fe^0$	Ferro metálico.	0,65
$Fe^{+2}$	Ferro ferroso.	49,7
$Fe^{+3}$	Ferro férrico.	17,9
P	Fósforo	0,01
S	Enxofre	0,01
C	Carbono.	0,60

Pela Tabela nota-se que o teor de ferro total é de 69,5%, e que a maior parte deste ferro está na forma de FeO(49,7%). Além disso, a carepa possui baixos teores de fósforo e enxofre, além de não conter sílica ou outro óxido formador de escória além dos óxidos de ferro, principalmente o FeO.

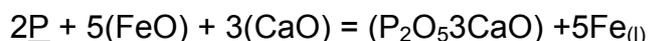
### 3.2 Utilização do Resíduo de Mármore e da Carepa como Desfosforantes

#### 3.2.1 Utilização da carepa desfosforante

A função da carepa na desfosforação é fornecer oxigênio para a formação do  $P_2O_5$ , segundo a reação (1):



Como o potencial de oxigênio no sistema é determinado pelo FeO, pode-se usar uma fonte de FeO ao invés de do sopro de oxigênio, que irá causar a oxidação do oxigênio do banho, diminuindo o rendimento metálico. Assim a reação de desfosforação será a reação (2):



A composição química da carepa mostrada na Tabela 9 sugere que esta é uma fonte de oxigênio para desfosforação melhor que minério, sinter ou pelota; pois esta não possui nenhum outro óxido formador de escória, além dos óxidos de ferro; e possui baixos teores de enxofre e fósforo.

Porém, pode haver problemas com relação ao seu manuseio e carregamento. Para sanar este problema foram feitos briquetes na empresa RECICLOS, que são mostrados na Figura 5.



**Figura 5.** Briquetes feitos utilizando a carepa gerada na Belgo Mineira, pela empresa RECICLOS.

Os briquetes mostrados na Figura acima podem ser manuseados e carregados no carro torpedo, panela ou convertedor, com mais facilidade que a carepa no seu estado original.

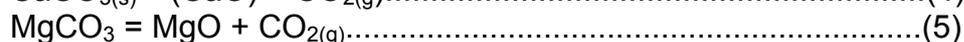
#### 3.2.2 Utilização do resíduo de mármore como desfosforantes

Os resultados das simulações, indicando o teor de fósforo final no metal, juntamente com as condições iniciais, são apresentadas na Tabela de cada simulação são mostradas na Tabela 9.

**Tabela 9.** Condições iniciais e o teor de fósforo final.

Simulação	T ( K )	CaO(g)	FeO(g)	MgO(g)	Pinicial(%)	Pfinal(%))	C(%)	Resíduo(g)
1	1873	3375	5781,25	0	0,1	$1,99 \cdot 10^{-3}$	4,2	0
2	1573	3375	5781,25	0	0,1	$7,42 \cdot 10^{-4}$	4,2	0
3	1473	3375	5781,25	0	0,1	$3,96 \cdot 10^{-4}$	4,2	0
4	1873	3375	5781,25	151	0,1	$1,96 \cdot 10^{-3}$	4,2	9197,85
5	1573	3375	5781,25	151	0,1	$7,40 \cdot 10^{-4}$	4,2	9197,85
6	1473	3375	5781,25	151	0,1	$3,96 \cdot 10^{-4}$	4,2	9197,85

Analisando a Tabela 9, nota-se que à medida que a temperatura diminui, o teor de fósforo no metal também diminui, tanto com a utilização de cal pura, como com a utilização de resíduo. Estes resultados são coerentes, uma vez que a desfosforação é uma reação exotérmica, e como tal, é favorecida pela diminuição da temperatura. Nota-se também que a presença do MgO proveniente do resíduo, praticamente não altera a desfosforação. Estes fatos são indicativos favoráveis à utilização do resíduo, como desfosforante, pois como o CaO e MgO estão na forma de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  respectivamente, a adição do resíduo em um banho líquido nas temperaturas utilizadas, que são próximas da temperatura do processo real, causará as seguintes reações:



Estas reações são endotérmicas e diminuem a temperatura do banho, o que favorece termodinamicamente a reação de desfosforação, permitindo alcançar teores de fósforo mais baixos no metal, como mostrados na Tabela 5. O limite é diminuição excessiva da temperatura que pode causar a solidificação da escória.

A diminuição da temperatura, porém, diminui a cinética de desfosforação, uma vez que esta, segundo Mukawa e Mizukami, é controlada pelo transporte de massa das fases envolvidas no metal e na escória. A velocidade deste transporte diminui com a diminuição da temperatura, uma vez que ocorre o aumento da viscosidade do metal e da escória, fazendo com que a reação ocorra mais devagar.

Este fato aponta para mais uma vantagem da utilização do resíduo, pois os gases gerados na decomposição dos carbonatos, aumentam a agitação do sistema, favorecendo o transporte de massa, o que pode compensar a diminuição da velocidade de transporte de massa causada pela diminuição da temperatura.

A presença do MgO no resíduo também é um ponto favorável à sua utilização como desfosforante, pois este diminui o desgaste de refratário durante o processo de desfosforação, que também é à base de MgO. Hernandez<sup>(7)</sup> et al estudaram a adição de  $\text{Na}_2\text{O}$  em até 6% em massa no ferro-gusa, e afirmaram que esta adição aumenta a desfosforação, porém aumenta também o desgaste do refratário, pois diminui o ponto de fusão e a viscosidade da escória.

Li et al.<sup>(1)</sup> estudaram o efeito da adição de até 5% de  $\text{Na}_2\text{O}$  na desfosforação de aços em escória básicas formadas por CaO, FeO e  $\text{SiO}_2$ , saturadas em MgO. Segundo os autores adição de  $\text{Na}_2\text{O}$ , diminui o coeficiente de atividade do  $\text{P}_2\text{O}_5$ , favorecendo a desfosforação. Porém, é preciso saturar a escória em MgO para diminuir o desgaste de refratário provocado pela adição de  $\text{Na}_2\text{O}$ , o que pode ser conseguido com o próprio resíduo

## 4 CONCLUSÕES

Pelas condições usadas neste trabalho pode-se concluir que:

- 1- A granulometria do resíduo está compreendida entre 1,0 e 0,062mm, ficando a maior parte na faixa entre 0,25 e 0,18 mm, e a dissolução do CaO, presente, no gusa líquido, pode ocorrer em menos de 60 segundos;
- 2- O teor de ferro total na carepa é de 69,5%, e a maior parte deste ferro está na forma de FeO(49,7%); além de possuir baixos teores de fósforo e enxofre, e não conter sílica ou outro óxido formador de escória além dos óxidos de ferro;
- 3- A presença do MgO proveniente do resíduo, para a quantidade usada no presente trabalho, praticamente não altera a desfosforação;
- 4- A adição do resíduo mármore pode melhorar as condições termodinâmicas e cinéticas da desfosforação;
- 5- A adição do resíduo de mármore pode diminuir o desgaste do refratário dos equipamentos usados na desfosforação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à RECICLOS pela confecção dos briquetes.

## REFERENCIAS

- 1 LI, Guangqiang; HUMANO, Tasuku; TSUKIHASHI, Fumitaka. The Effect of Na<sub>2</sub>O and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on dephosphorization of Molten Steel by Basicity MgO Saturated CaO-FeO<sub>x</sub>-SiO<sub>2</sub> Slag. **ISIJ International**, v.45, no.1, p.12-18, 2005.
- 2 KITAMURA, S.Y.; YONEZAWA,K.; SASAKI,N. Improvement of Reaction Efficiency in Hot Metal Dephosphorisation. **Ironmaking and Steelmaking**, v.29, no.2,p.121-124, 2002.
- 3 WEI, Pan; OHYA, Michihiro; HIRASAWA, Masahiro; SANO,Masamichi; MORI,Kazumi. Estimation of Slag-Metal Interfacial Oxygen Potential in Phosphorus Reaction between FetO Containing Slag and Molten Iron of High Carbon Concentration. **ISIJ International**, v. 33, no.8, p.847-854, 1993.
- 4 HINO, Y.; KIKUCHI, N.; NABESHIMA, S.; TAKEUCHI, S. Effect of iron oxide feeding rate and hot metal temperature on dephosphorization rate in torpedo car. **ISIJ Internaciona**l. v. 45, n. 6, p. 827-834, 2005.
- 5 ISHIKAWA, M. Analysis of hot metal desilicization behavior in converter experiments by coupled reaction model. **ISIJ Internaciona**l. v. 44, n. 2, p. 316-325, 2004.
- 6 KOROS,P.J. **The Making,Shaping and Teating of Steel. Steelmaking Refining Volume**. AISE Steel Foundation, ed. 11, cap.7, pag. 416.
- 7 HERNÁNDEZ, Aurelio; ROMERO, Antonio; CHAVEZ, Federico; ANGELES, Miguel; MORALES, R.D. Dephosphorization and Desulfurization Pretreatment of Molten Iron with CaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>-FeO-Na<sub>2</sub>O Slag. **ISIJ International**, v.38, no. 2, p.126-131, 1998.
- 8 Saboya Jr. F.; Xavier G.C.; Alexandre J. The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. **Construction and Building Materials**, 2006.
- 9 VARELA, J.J.; PETTER,C.O.;WOTRUBA,H. Product quality improvement of brazilian impure marble. **Minerals Engineering**, p. 355-363, 2006.
- 10 SAMPAIO, João Alves; WELLANKAMP, Franz Tosef; COSTA, Izabel Lacerda Salviano da. Mármore Salviano. **Comunicações Técnicas/CETEM**, Rio de Janeiro, Dezembro.2002.

- 11 MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S.. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso.** Feira de Santana – Bahia, 2002. p. 49-61. Disponível em: <[http://www.uefs.br/sitientibus/tecnologia26/utilizaçãodoresiduodecortedemarmor\\_e.p\\_df](http://www.uefs.br/sitientibus/tecnologia26/utilizaçãodoresiduodecortedemarmor_e.p_df)>. Acesso em: 21 dez. 2004.
- 12 CUNHA, Adriano Ferreira da; MOL, Marcos Paulo Gomes; MARTINS, Máximo Eleotério; ASSIS, Paulo Santos. Caracterização, Beneficiamento e Reciclagem de Carepas Geradas em Processos Siderúrgicos. **Metalurgia e Materiais**, pag. 111-116, Ouro Preto, Jan. mar. 2006.
- 13 HUMANO, Tasuku; HORIBE, Masashi; ITO, Kimihisa. The Dissolution Rate of Solid Lime into Molten Slag Used for Hot-Metal Dephosphorization. **ISIJ International**, v.44, no.2, p.263-267,2004.
- 14 MUKAWA, Susumu; MIZUKAMI, Yoshimasa. Effect of Stiring Energy and Rate of Oxigen Supply on the Rate of Hot Metal Dephosphorization. **ISIJ International**, v.35, n.11, p. 1374-1380, 1995.