

DESEMPENHO DE CONCRETOS REFRAATÓRIOS CONTENDO CARBONO (Al_2O_3 -SiC-SiO₂-C) EM ENSAIOS LABORATORIAIS E APÓS APLICAÇÃO EM UMA BICA BASCULANTE

A.P. Luz^{(1)*}, V. G. Domiciano⁽²⁾, M. A. M. Brito⁽²⁾, V.C. Pandolfelli⁽³⁾

⁽¹⁾ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais
(PPGCEM/UFSCar) Rod. Washington Luiz, km 235, C. P. 676, 13565-905, S.
Carlos, SP / e-mail: ana_light@uol.com.br

⁽²⁾ Magnesita Refratários S.A. - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD)

⁽³⁾ Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Materiais

RESUMO

Concretos refratários contendo carbono são utilizados em canais de corrida no transporte de metais e escórias líquidas. No entanto, o desempenho destes materiais pode ser comprometido devido as diversas situações à que eles são expostos durante serviço. Várias pesquisas abordam o uso de antioxidantes, visando manter o carbono na estrutura dos refratários, porém, ainda não há um consenso sobre qual aditivo é o mais indicado para cada tipo de concreto. Assim, neste trabalho o uso de três antioxidantes (B_4C , borossilicato de sódio e Si) e o desempenho de alguns refratários (Al_2O_3 -SiC-SiO₂-C) foram avaliados por meio de simulações termodinâmicas, ensaios de resistência mecânica, à oxidação, à corrosão e após aplicação em uma bica basculante. Verificou-se que o uso combinado dos antioxidantes permitiu reduzir a oxidação do carbono, além disso, a sinterização excessiva, corrosão química e as práticas adotadas pelos operadores são também pontos importantes que influenciaram diretamente o comportamento do refratário em uso.

Palavras-chave: concretos refratários, carbono, antioxidantes, corrosão.

INTRODUÇÃO

Concretos refratários do sistema Al_2O_3 -SiC-SiO₂-C são amplamente utilizados como revestimento de canais de corrida de altos-fornos devido sua elevada refratariedade aliada a baixa expansão térmica, alta condutividade térmica, resistência ao choque térmico e ao ataque por escórias fundidas^(1,2). As

propriedades físicas e químicas destes concretos dependem fortemente dos componentes básicos e dos aditivos (p.e., antioxidantes) utilizados. Para cobrir todas as exigências operacionais, muitos esforços têm sido realizados no desenvolvimento e avaliação de concretos contendo carbono^(2,3).

A oxidação dos concretos refratários leva a diminuição da resistência mecânica e à penetração de ar e escória, devido ao aumento da porosidade decorrente da perda de carbono. Uma forma efetiva de prevenir este efeito consiste no uso de antioxidantes, os quais reagem preferencialmente com o oxigênio ou com o carbono, diminuindo sua velocidade de consumo ou taxa de oxidação deste componente. Vários trabalhos foram desenvolvidos visando o entendimento da atuação destes aditivos, porém a maioria destes estudos foram realizados para o sistema MgO-C⁽⁴⁻⁷⁾. Cada antioxidante atua em diferentes faixas de temperatura, portanto, o uso de mais de um tipo de antioxidante pode complementar a ação destes materiais na prevenção da oxidação do carbono⁽⁸⁾.

O desgaste de concretos contendo carbono pode ser descrito por dois processos principais: (a) oxidação do carbono em temperaturas maiores que 600°C e (b) corrosão (física e química) por metais e escórias líquidas. Os mecanismos predominantes na interface escória – metal – refratário são: erosão, aparecimento de trincas ou lascamento (peeling-off), sendo este último resultante do excesso de sinterização ou aumento das tensões internas devido aos ciclos de aquecimento e resfriamento⁽⁹⁾.

Visando entender o processo de oxidação e desgaste dos concretos de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-C}$, este trabalho investigou a atuação de três antioxidantes (B_4C , borossilicato de sódio e Si). O desempenho dos refratários desenvolvidos foi avaliado por meio de simulações termodinâmicas, ensaios de resistência mecânica, à oxidação, à corrosão e após um teste prático, com a aplicação de um refratário em uma bica basculante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cálculos termodinâmicos foram realizados visando entender o desempenho isolado ou combinado dos antioxidantes Si, B_4C e borossilicato de sódio (BS) e estimar sua influência na refratariedade do concreto $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-C}$ (Tabela 1). Os cálculos foram desenvolvidos no programa FactSage (versão 6.1 – Thermfact e

GTT-Technologies), no módulo Equilib, usando os bancos de dados: Fact53, FToxid e SGTE.

Tabela 1 - Composição do concreto Al_2O_3 - SiO_2 -SiC-C que foi avaliado nas simulações termodinâmicas.

Composição base	(%-p)
Al_2O_3	65
SiC	20
SiO_2	1
C	10
CaO	2
Antioxidante(s)	2

A evolução das fases dos refratários foi calculada entre as temperaturas de 400°C–1600°C, em atmosfera oxidante (0,025%-p de O_2 adicionado ao sistema). Além disso, o efeito dos aditivos na refratariedade também foi verificado a partir da previsão da temperatura de formação de líquido no refratário estudado.

Baseado nos resultados das simulações, foram elaboradas diversas composições refratárias contendo 10%-p de carbono (mistura de coque (CC), piche (PV) e negro de fumo (NF)), ultra-baixo teor de cimento (2%-p) e diversos teores dos antioxidantes escolhidos (Tabela 2). Os concretos foram elaborados seguindo o modelo de distribuição de tamanhos de partículas de Andreasen ($q=0,21$).

Tabela 2 - Composição base dos concretos refratários contendo distintos tipos e teores de antioxidantes.

Matérias-Primas	Composições (%-p)				
	<i>Si</i>	<i>B₄C</i>	<i>Si + B₄C</i>	<i>Si + BS</i>	<i>Si+B₄C+BS</i>
Alumina E. Marrom [■] (4/10 – 200 mesh)	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
Carbeto de silício [▼] (6/10 – 200 mesh)	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
Alumina Calcinação ^x (CL370C)	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Cimento (Secar 71) [●]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Microsílica [▲] (MS 971U)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Fontes de carbono [◆] (CC + PV + NF)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Silício metálico [▲] (Silgrain)	0 – 10,0	-	5,0	5,0	5,0
Carbeto de Boro [▲]	-	1,0 – 2,0	1,0	-	1,0
Borosilicato de sódio [*]	-	-	-	1,0	1,0

[■] Elfusa (Brazil); [▼] Treibacher (Brazil); ^x Almatiss (USA); [●] Kerneos (França); [▲] Elkem Refractories (Norway); ^{*} Ferro Enamel (Brazil); [▲] China Brasilis (China); [◆] Unimetal, Cabot and Nacional de Grafite (Brazil).

Para a adequada dispersão da matriz e das fontes de carbono empregou-se 0,2%-p de dispersante (Darvan-7S, R.T. Vanderbilt, Norwalk, Conn) e um surfactante não-iônico (teor empregado de 4,0 mg/m², HBL = 8). O teor de água utilizado na preparação das composições foi de 5,3%-p.

Após a mistura a úmido, os concretos foram moldados sob leve vibração na forma de cilindros ou barras. A seguir, as amostras foram submetidos a cura em ambiente úmido (100% de umidade relativa) a 50°C durante 12 horas e secagem em estufa a 110°C por 24 horas.

A eficiência dos antioxidantes foi avaliada em testes de resistência à oxidação, com a determinação da área oxidada (%) das amostras cilíndricas (d = h = 40 mm) após queima ao ar a 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C, 1450°C, 1550 °C e 1650°C (patamar de 5 horas na temperatura máxima e taxa de aquecimento de 3°C.min⁻¹).

A resistência mecânica a quente das composições contendo 2%-p de B₄C e 5Si + 1B₄C + 1BS (%-p) (chamadas de 10C e 10SBC, respectivamente) foram investigadas por meio de testes de flexão em um dispositivo de 3 pontos. Avaliou-se barras de 150 x 25 x 25 mm³ obtidas após a queima a 1400°C por 5 horas em atmosfera redutora. Os ensaios foram efetuados em atmosfera oxidante nas temperaturas de 400°C, 800°C, 1000°C, 1200°C, 1450° C de acordo com a ASTM C583-80. Para cada condição, 5 amostras de cada composição foram testadas.

Algumas amostras queimadas a 1400°C por 5 horas em atmosfera redutora também foram submetidas a ensaios de resistência a corrosão. Além dos concretos 10C e 10SBC, uma composição comercial contendo 4%-p de C e sem antioxidante foi avaliada. O teste em forno de indução (ASTM C874-85) foi conduzido a uma taxa de aquecimento de 26°C.min⁻¹, até 1600°C, sendo o tempo total de ensaio igual a 4 horas ininterruptas, com adições de 13 kg de ferro gusa além de 180 g de escória. Após cada experimento, as amostras foram analisadas e determinou-se o desgaste percentual.

Em virtude da menor oxidação e melhor desempenho do concreto 10SBC, baseado nesta composição foram efetuados alguns ajustes como: diminuição do teor total de carbono e de antioxidantes e adição de agregados maiores (d > 8 mm). A partir daí, um novo refratário foi desenvolvido (7SBC - Tabela 3) e aplicado em uma bica basculante de uma empresa siderúrgica. Esta avaliação permitiu verificar quais os pontos positivos e negativos do desempenho de tal refratário e quais as exigências requeridas na aplicação prática.

Tabela 3 - Composição do concreto 7SBC aplicado na bica basculante.

Matérias-Primas	7SBC (%-p)
<i>Alumina (maior que 8 – 200 mesh)</i>	71,0
<i>Carbeto de silício (6/10 – 200 mesh)</i>	15,0
<i>Cimento (Secar 71)</i>	1,5
<i>Microssilica (MS 971U)</i>	1,0
<i>Fontes de carbono (CC + PV + NF)</i>	7,0
<i>Silício metálico (Silgrain)</i>	4,5
<i>Carbeto de Boro</i>	
<i>Borosilicato de sódio</i>	
<i>Fibra de aço inoxidável</i>	3,0

Aproximadamente 3,5 toneladas do concreto 7SBC foram homogeneizadas a seco e em seguida misturadas a úmido (adição de 5%-p de H₂O) por cerca de 5 minutos. O refratário foi aplicado em uma bica basculante e esta foi mantida em operação durante 28 dias. Neste período a temperatura média de operação foi de 1496°C e o líquido escoado consistiu majoritariamente de ferro gusa.

Para averiguar as transformações microestruturais e mudanças sofridas pelo refratário após os 28 dias, foram coletadas amostras de 3 regiões diferentes (borda livre, zona de trabalho e interface de contato com o metal) para a realização da análise post-mortem (Fig. 1).



Figura 1 – Fotografia da amostra do concreto 7SBC como recebida (após 28 dias de uso na bica basculante) para a análise post-mortem.

Análises de difração de raios X (2θ entre 5-80°, equipamento INEL CPS120, operando a 30 mA e 40kV, usando radiação CuK α), porosidade aparente (usando método de Archimedes - ASTM C380-00) e resistência a compressão a frio (ASTM C 496-90) foram utilizadas para caracterizar os materiais coletados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das grandes preocupações da adição de alguns antioxidantes às composições refratárias é a combinação destes aditivos com os componentes dos concretos, o que pode levar a formação de fases de baixo ponto de fusão, resultando no comprometimento da refratariedade de tais materiais.

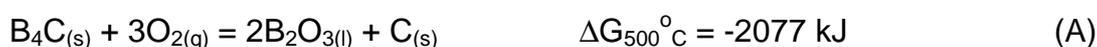
Por se tratarem de composições complexas e por serem constituídas por diversos materiais, a previsão da presença de líquido na estrutura dos concretos de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-SiC-C}$ foi efetuada a partir de cálculos elaborados no programa FactSage. Os resultados desta investigação estão apresentados na Tabela 4. É necessário destacar que a temperatura do líquido, indicada nas previsões termodinâmicas, corresponde à condição na qual há um excesso de fase líquida na estrutura do refratário após completada todas as possíveis reações químicas entre esta fase e os componentes sólidos do concreto.

Tabela 4 - Previsões termodinâmicas da temperatura onde há a presença de líquido na estrutura do concreto $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-SiC-C}$ e de sua composição química quando são adicionados distintos antioxidantes ao refratário.

Antioxidantes	Temperatura do líquido (°C)	Teor de líquido formado a 1650°C (%-p)	Principais componentes do líquido (%-p)			
			Al_2O_3	SiO_2	CaO	B_2O_3
Si	1544	11,4	41,7	41,3	17,0	-
Si- B_4C	1054	11,2	39,9	13,7	26,7	19,7
B_4C	1050	11,9	39,9	13,7	26,7	19,7
Si-BS	962	12,1	14,4**	47,0	8,5	5,3
Borosilicato de sódio (BS)	960	11,0	14,2**	47,6	8,2	5,1

**24,7%-p de NaAlO_2 também está presente no líquido.

Em outras palavras, o antioxidante B_4C pode reagir com O_2 ou CO da atmosfera na temperatura de 500°C, gerando a fase $\text{B}_2\text{O}_3(l)$ (Eq. A e B). Em temperaturas não muito elevadas este aditivo promoverá o aparecimento de líquido na estrutura do concreto. Porém, esta fase poderá ainda ser consumida em uma reação com a alumina, levando a formação de $(\text{Al}_2\text{O}_3)_2(\text{B}_2\text{O}_3)_{(s)}$. Por esta razão, numa condição de equilíbrio é esperado que o concreto contendo B_4C apenas apresente um excesso de líquido em temperaturas acima de 1050°C (Tabela 4).



A atuação do borossilicato de sódio tende a ser parecida com a do B_4C , no entanto, em temperaturas menores do que $500^\circ C$ já é possível haver a formação de líquido (B_2O_3). Além do elevado custo, outro limitante do uso de antioxidantes contendo boro é a facilidade com que eles promovem o aparecimento líquido no refratário em temperaturas entre $500-800^\circ C$. Assim, apesar de muito eficientes, recomenda-se o uso de pequenos teores destes aditivos.

Por outro lado, Si é um bom antioxidante para ser usado nos refratários contendo elevado teor de carbono. Sua atuação inicia-se a $1100^\circ C$ com a reação com o próprio carbono do concreto (Eq. C) e acima de $1544^\circ C$ é prevista a formação de líquido na estrutura do refratário (Tabela 4).



O SiC atua na prevenção da oxidação do carbono até aproximadamente $1525^\circ C$, por meio da redução do $CO_{(g)}$ para $C_{(s)}$ e com a formação de $SiO_{2(s)}$ ^(5,7) (Eq. D e E).



Para avaliar a eficiência do Si, B_4C e borossilicato de sódio foram efetuados alguns ensaios de resistência à oxidação e os resultados coletados são mostrados na Fig. 2.

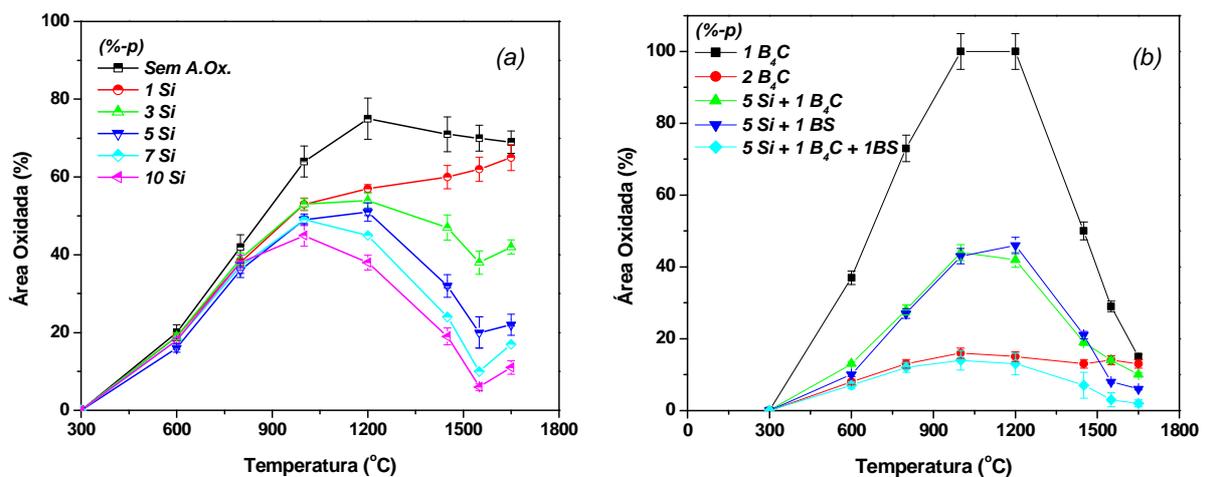


Figura 2 – Área oxidada (%) em função da temperatura para os concretos Al_2O_3 - SiO_2 -SiC-C contendo até 10%-p de carbono.

O uso de teores de Si maiores de 3%-p ocasionou a queda da área oxidada dos refratários em temperaturas acima de 1100°C, como mostrado na Fig. 2a. A principal transformação que pode ocorrer nesta faixa de temperatura é a formação de SiC (Eq. C). Acima de 1550°C ainda foi verificado a aumento da oxidação de algumas composições que continham elevadores teores de Si, pois o SiC torna-se instável quando exposto a esta condição. Além disso, a adição de 2%-p de B₄C ou o uso combinado de 5 Si + 1B₄C + 1BS (%-p) promoveu uma redução significativa da oxidação das partículas de carbono em uma maior faixa de temperatura (Fig. 2b).

O principal mecanismo de atuação dos aditivos contendo boro consiste na geração da fase B₂O_{3(l)}, reação deste líquido com os demais componentes do concreto e formação de uma camada densa na superfície do refratário⁽⁷⁾. A formação de uma camada com menor porosidade na superfície oxidada da amostra inibe a penetração do oxigênio e evita a saída do carbono da microestrutura do concreto. Por outro lado, o Si ao reagir com o carbono acima de 1100°C evita que este sofra oxidação.

Para a avaliação da resistência mecânica e à corrosão foram escolhidas apenas as composições que apresentaram os melhores resultados nos ensaios de oxidação: 2%-p de B₄C (10C) e 5 Si + 1 B₄C + 1 BS (%-p) (10SBC). Além das duas composições citadas, ainda foi avaliado um concreto sem antioxidante para efeito de comparação (Fig. 3).

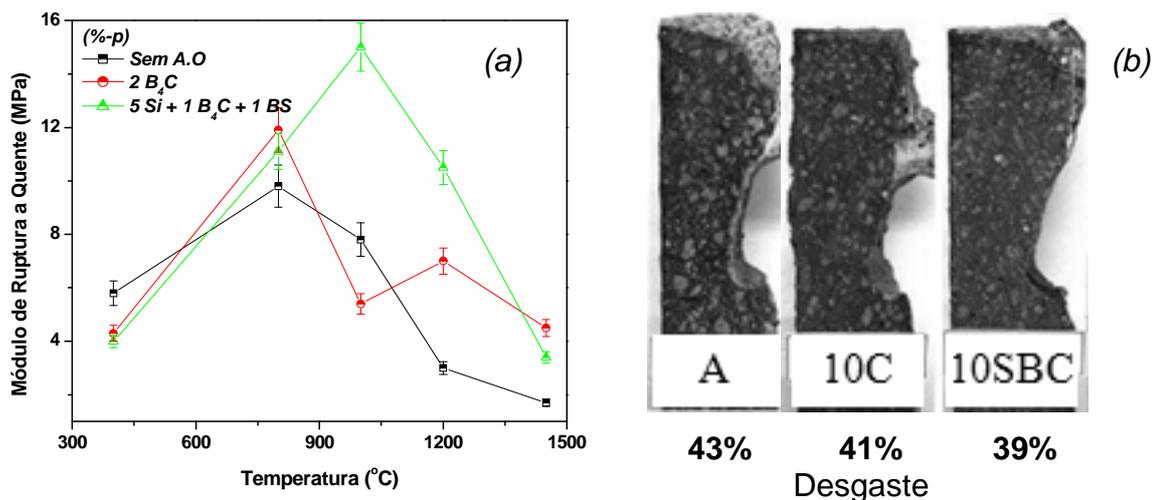


Figura 3 - (a) Módulo de ruptura a quente dos refratários contendo antioxidantes e (b) imagens das amostras após ensaio de corrosão em forno de indução.

O concreto sem antioxidante tem sua resistência mecânica afetada pelo aumento da porosidade aparente, devido a sua acentuada perda de carbono (Fig.

2a). Por outro lado, a diminuição significativa do módulo de ruptura a quente entre 800°C–1000°C do concreto 10C é atribuída a formação da fase $B_2O_{3(l)}$. Apesar de também possuir antioxidantes que continham boro, o concreto 10SBC teve um melhor desempenho quando comparado com os demais. A formação de fase líquida, decorrente da atuação do B_4C e do BS e da oxidação do SiC (gerando SiO_2 que posteriormente se combinou com Al_2O_3 e CaO, formando fases de baixo ponto de fusão) são as principais transformações responsáveis pela queda da resistência mecânica deste concreto acima de 1000°C⁽⁸⁾.

A Fig. 3b também mostra os valores percentuais de desgaste dos refratários e as fotos com o perfil de corrosão após o contato com o metal-escória fundidos. As amostras apresentaram uma corrosão acentuada na região onde havia o contato entre os dois líquidos e o concreto. O material 10SBC obteve o menor desgaste, seguido pelo 10C e o concreto comercial A (4%-p de C e sem antioxidante).

Embora os concretos 10C e 10SBC continham 10%-p de C e o carbono adicionado estava bem protegido na sua microestrutura, nenhuma melhora significativa da resistência à corrosão foi observada. Baseado nos resultados coletados, o uso dos antioxidantes tende a proteger o carbono e afetar positivamente algumas propriedades dos concretos refratários, no entanto, alguns dos produtos de reação destes aditivos podem contribuir para diminuir a resistência a corrosão dos concretos em altas temperaturas. Por exemplo, B_2O_3 e as demais fases líquidas formadas podem ser incorporadas pela escória, aumentando a exposição e dissolução do refratário. A oxidação do SiC pelo FeO também é apontada como uma das principais causas da corrosão dos refratários na linha do metal dos canais de corrida⁽⁸⁾.

Análise Post-Mortem

Outra investigação consistiu na aplicação do refratário 7SBC (7%-p de C e 4,5%-p de antioxidantes, Si+B₄C+BS – Tabela 3) em uma bica basculante em uma empresa siderúrgica. Após o período de 28 dias de operação deste equipamento, foram coletadas amostras de diferentes regiões e uma análise post-mortem foi efetuada. Observou-se que nas pontas e no bojo da bica houve um desgaste mais pronunciado do refratário e 0,038 kg/ton de ferro-gusa do material 7SBC foi consumido durante os 28 dias de operação do equipamento, enquanto concretos comerciais apresentaram valores de 0,030 kg/ton de ferro-gusa. Baseado nestas

informações concluiu-se que o concreto 7SBC teve um consumo de 26,7% maior do que os produtos atualmente utilizados na indústria siderúrgica.

Algumas propriedades como porosidade aparente, resistência à compressão e identificação das fases presentes nos concretos coletados foram determinadas. Os resultados são mostrados a seguir (Tabela 5).

Tabela 5 - Propriedades do concreto 7SBC após teste em uma bica basculante.

Propriedades	Borda livre	Zona de trabalho
Porosidade Aparente (%)	17,38 ± 0,67	14,70 ± 1,12
Módulo de ruptura - compressão (MPa)	43,15 ± 0,64	68,22 ± 11,92
Fases cristalinas	Al ₂ O ₃ (corundum), β-Al ₂ O ₃ , SiC, Si, SiO ₂ (quartzo), Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Al ₂ O ₃ (corundum), SiC, Si, SiO ₂ (cristobalita), CaAl ₂ Si ₂ O ₈ (anortita), Al ₆ Si ₂ O ₁₃ (mulita)

A região da borda livre foi exposta à atmosfera oxidante e à oscilações térmicas, desta forma, obteve-se uma maior porosidade e menor resistência mecânica para estas amostras, quando comparadas com os corpos de prova coletados na região da zona de trabalho.

Adicionalmente, Al₂O₃, SiC, Si e SiO₂ foram determinadas em ambas regiões (Tabela 5). No entanto, entre as corridas de ferro-gusa é prática comum a adição de areia na superfície do refratário, com o objetivo de facilitar a remoção dos respingos do metal escoado. Essa remoção do metal deve ser realizada para que seja possível monitorar o desempenho do refratário e a evolução do seu desgaste durante uso. Devido a este procedimento, a resistência ao desgaste do concreto pode ter sido prejudicada, pois a sílica quando combinada com Al₂O₃ e CaO do concreto gerou fases com baixo ponto de fusão (CaAl₂Si₂O₈ e Ca₃Al₂Si₃O₁₂ - Tabela 5). A adição de areia ao longo do período de operação da bica e a formação de fases como CaAl₂Si₂O₈ e Ca₃Al₂Si₃O₁₂ podem ter afetado o desempenho do concreto 7SBC.

Por outro lado, algumas regiões próximas da interface metal-refratário ainda mostraram uma maior densificação (imagens não mostradas aqui), decorrente de uma sinterização excessiva e das oscilações térmicas (aquecimento e resfriamento) entre as corridas de ferro gusa sobre a bica basculante. O superaquecimento do refratário promoveu a formação de fases líquidas derivadas da atuação dos antioxidantes, resultando na formação de uma camada mais densa na superfície do material. As alterações na microestrutura do concreto 7SBC em elevada temperatura levou ao surgimento de trincas superficiais e ao posterior lascamento (*peeling off*) do

refratário. Acredita-se que a variação térmica não foi a única responsável pelo efeito de lascamento do concreto avaliado. A penetração do líquido na região próxima à interface de contato entre o sólido e o metal pode também ter contribuído para o aparecimento deste efeito.

CONCLUSÕES

O uso combinado dos antioxidantes Si, B₄C e borossilicato de sódio permitiu manter o carbono na estrutura dos concretos por uma maior faixa de temperatura. No entanto, apesar de promover a adequada proteção às partículas de C, as fases resultantes da atuação destes aditivos afetaram a resistência mecânica e à corrosão dos refratários estudados. O concreto 7SBC (aplicado em uma bica basculante) apresentou um maior desgaste que o material comercial anteriormente utilizado. A sinterização excessiva e maior densificação em algumas regiões do refratário resultaram no lascamento deste material e, conseqüentemente, seu maior desgaste. A adição de sílica sobre a superfície do refratário durante a operação da bica também influenciou o comportamento do concreto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP e à Magnesita Refratários S.A pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- (1) CHAN, C.; ARGENT, B. B.; LEE, W. E. Influence of additives on slag resistance of Al₂O₃-SiO₂-SiC-C refractory bond phases under reducing atmosphere. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 81, n. 12, p. 3177-3188, 1998.
- (2) OUEDRAOGO, E; PROMPT, N. High temperature characterization of an alumina refractory concrete for Blast Furnace main trough Part II. Material behavior. **J. Euro. Ceram. Soc.**, v. 28, n.15, p. 2867-75, 2008.
- (3) ZHANG, S.; LEE, W. E. Carbon containing castables: current status and future prospects. **Brit. Ceram. Trans.**, v. 101, n. 1, p. 1-8, 2002.
- (4) ZHANG, S.; LEE, W. E. Influence of additives on corrosion resistance and corroded microstructures of MgO-C refractories. **J. Euro. Ceram. Soc.**, v. 21, p. 2393-2405, 2001.
- (5) ZHANG, S.; MARRIOTT, N. J.; LEE, W. E. Thermochemistry and microstructures of MgO-C refractories containing various antioxidants. **J. Euro. Ceram. Soc.**, v. 21, p. 1037-1047, 2001.

- (6) GOKCE, A. S.; GURCAN, C.; OZGEN, S.; AYDIN, S. The effect of antioxidants on the oxidation behaviour of magnesia-carbon refractory bricks. **Ceramics International**, v. 34, n. 2, p. 323-330, 2008.
- (7) RIGAUD, M. New additives in carbon-bonded refractories. **Ceramic: charting the future**, Techna Srl, p. 399-413, 1995.
- (8) LUZ, A.P.; VALENZUELA, F.A.O.; DOMICIANO, V.G.; BRITO, M.A.M.; PANDOLFELLI, V.C. Improved oxidation resistance of high-carbon-containing castables via antioxidant blend. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 88, p. 40-46, 2009.
- (9) NIU, J.; TERAYAMA, S.; KIMINAMI, T.; MUROI, N. Effect of graphite grains on properties of castable for a blast furnace trough. **J. Tech. Assoc. Refrac., Japan**, v. 22, n. 3, p. 219-222, 2002.

**CARBON CONTAINING REFRACTORY CASTABLES ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-C}$)
PERFORMANCE IN LABORATORIAL TESTS AND AFTER USE IN A TILTING
RUNNER**

ABSTRACT

Carbon containing refractory castables are used in main runners for the transport of molten iron and slags. However, the performance of these materials can be affected by the severe working conditions that they are exposed during use. Several works discuss the use of antioxidants, aiming to keep the carbon in the refractory structure. However, there is no agreement about which of these additives is the most recommended for each sort of castable. Therefore, in this work the use of three antioxidants (B_4C , sodium borosilicate glass and Si) and the performance of some refractories ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-SiO}_2\text{-C}$) were evaluated by thermodynamic simulations, mechanical strength, oxidation, corrosion tests and after practical test in a tilting runner. It was observed that the combined use of distinct antioxidants reduced the carbon oxidation and the localized sintering, chemical corrosion and some procedures adopted by the operation staff were very important and affected directly the refractory's behavior during use.

Keywords: refractory castables, carbon, antioxidants, corrosion.