



## CARACTERIZAÇÃO DE TAMPÃO PARA DISTRIBUIDORES DAS MÁQUINAS DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO<sup>1</sup>

Thaís Fonseca Rezende<sup>2</sup>  
Fábio Duarte Santos<sup>3</sup>  
Carlos Alexandre Machado<sup>4</sup>

### Resumo

O fluxo de aço do distribuidor para o molde nas aciarias da Usiminas Ipatinga é controlado por meio de tampão refratário, que exerce importância fundamental em termos de segurança e estabilidade operacional do processo de lingotamento contínuo. Com objetivo de melhor inferir quanto às propriedades dos tampões, foi realizado um estudo de caracterização, que consistiu da avaliação visual e da determinação das propriedades físicas e químicas dos corpos, das pontas e das tintas de três tampões distintos. Entre os principais resultados, destaca-se a observação de descentralizações do diâmetro interno dos tampões e a presença de antioxidantes em quantidades distintas entre eles. Quanto à superfície da tinta (Glaze), observaram-se trincas e poros, que podem contribuir para uma redução da proteção contra oxidação.

**Palavras-chave:** Tampão; Distribuidor; Lingotamento contínuo; Caracterização.

## CHARACTERIZATION OF TUNDISH STOPPER FOR CONTINUOUS CASTING MACHINE

### Abstract

The steel flux from tundish to the mould in the steelmaking shops at Usiminas Ipatinga is controlled by stopper, which has fundamental importance in terms of safety and operational stability in the continuous casting process. In order to better know the stopper properties, a characterization study was conducted, which consisted of a visual assessment and determination of physical and chemical properties of bodies, tips and glaze of three distinct stoppers. From the results, it was noticed decentralizations in the diameter of the stoppers and the presence of anti-oxidants in different amounts between them. In relation to the glaze surface, it was observed cracks and pores, which can contribute to reduce the protection against oxidation.

**Keywords:** Stopper; Tundish; Continuous casting; Characterization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira Química; Centro de Tecnologia Usiminas - Unidade de Ipatinga, Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, MSc; Gerência de Preparação e Abastecimento, Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>4</sup> Técnico Metalurgista; Gerência de Lingotamento Contínuo, Usiminas; Ipatinga, MG.



## 1 INTRODUÇÃO

Tampão é uma peça refratária utilizada no controle da velocidade de vazamento de aço do distribuidor para o molde, exercendo uma importância fundamental em termos de segurança e estabilidade operacional. A escolha do tampão depende de fatores operacionais como dimensões dos distribuidores, fluxo de produção e tipo de aço, além de aspectos econômicos.

Entre as principais anormalidades operacionais observadas em tampões post mortem estão: trincas na região de fixação do pino metálico, quebras na região da ponta, deposições de alumina e desgastes excessivo da ponta dos tampões.<sup>(1)</sup>

O objetivo desse estudo é apresentar e discutir os resultados de testes laboratoriais destinados a determinar as principais propriedades físico-químicas de tampões para lingotamento contínuo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu na avaliação visual, determinação das propriedades físico-químicas dos corpos, das pontas e das tintas (Glaze) de três tampões utilizados nas máquinas de lingotamento contínuo da Usiminas de Ipatinga. Os tampões analisados, denominados nesse estudo por A, B e C, apresentam um comprimento total de 1500 mm.

Inicialmente, foram realizadas medições das dimensões e inspeções visuais dos tampões. Para avaliação das propriedades físicas e químicas dos corpos e pontas dos tampões foram realizados os seguintes ensaios: difratometria de raios-X, ceramografia, porosimetria de mercúrio, resistência à oxidação, densidade de massa aparente, porosidade aparente, resistência à flexão a quente e resistência à compressão. Para avaliação da tinta (Glaze) dos tampões foram realizadas análises, apenas análises ceramográficas da superfície e da interface da tinta com o refratário.

### 2.1 Análises e Ensaios Realizados nos Corpos e Pontas dos Tampões

#### 2.1.1 Análise visual e medição das dimensões dos tampões

Foram realizados três cortes nas posições de 80 mm, 300 mm e 1350 mm, considerando a ponta do tampão como a origem.

#### 2.1.2 Caracterização microestrutural

Foram empregados os recursos de difração de raios-X em amostras tratadas termicamente a 300°C, durante 5 horas. Além disso, utilizaram-se as técnicas de microscopia ótica e eletrônica de varredura, para caracterizar as amostras tratadas termicamente a 1.400°C, no mesmo período de tempo.

#### 2.1.3 Resistência mecânica

Foram realizados ensaios de resistência à flexão e compressão para avaliação da resistência mecânica.

A resistência à flexão foi medida nas temperaturas de 800°C, 1.200°C e 1.400°C, em atmosfera de nitrogênio, após patamar de 30 minutos na temperatura de ensaio. Os corpos de prova foram previamente coqueificados nas temperaturas de ensaio, durante 5 horas.

A resistência à compressão foi medida nas temperaturas de 110°C, 800°C, 1.200°C e 1.400°C. Os corpos de prova foram previamente coqueificados nas temperaturas



de ensaio, durante 24 horas para a amostra de 110°C e 5 horas para as demais amostras.

Os dois testes foram realizados em corpos de prova nas dimensões de 25 mm x 25 mm x 150 mm.

## 2.1.4 Resistência à oxidação

A resistência à oxidação foi medida a 1.400 °C durante 10 minutos em amostras cilíndricas (25 mm de diâmetro x 40 mm de altura) tratadas termicamente, em atmosfera redutora, nessa temperatura durante 5 horas. O índice de oxidação foi determinado pela relação entre o carbono final (após) e o carbono inicial.<sup>(2)</sup>

## 2.1.5 Densidade e porosidade aparente

Os ensaios de densidade de massa aparente e porosidade aparente foram efetuados em corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta, secos a 110°C durante 24 horas.

## 2.1.6 Porosimetria de mercúrio

O ensaio de porosimetria de mercúrio foi realizado em corpos de prova cúbicos de aresta de 15 mm, tratados termicamente a 1.400°C durante 5 horas.

## 2.2 Análises e Ensaio Realizados para Avaliação do *Glaze* dos Tampões

### 2.2.1 Resistência à oxidação

Foram confeccionados corpos de prova prismáticos (20 mm x 20 mm x 10 mm), com uma das faces preservadas com o *Glaze*. O índice de oxidação foi determinado por análise visual das amostras oxidadas a 1.400°C durante 10 minutos.

### 2.2.2 Caracterização microestrutural

Foram empregados os recursos de microscopia ótica e eletrônica de varredura na superfície do *Glaze* e na sua interface com o refratário.

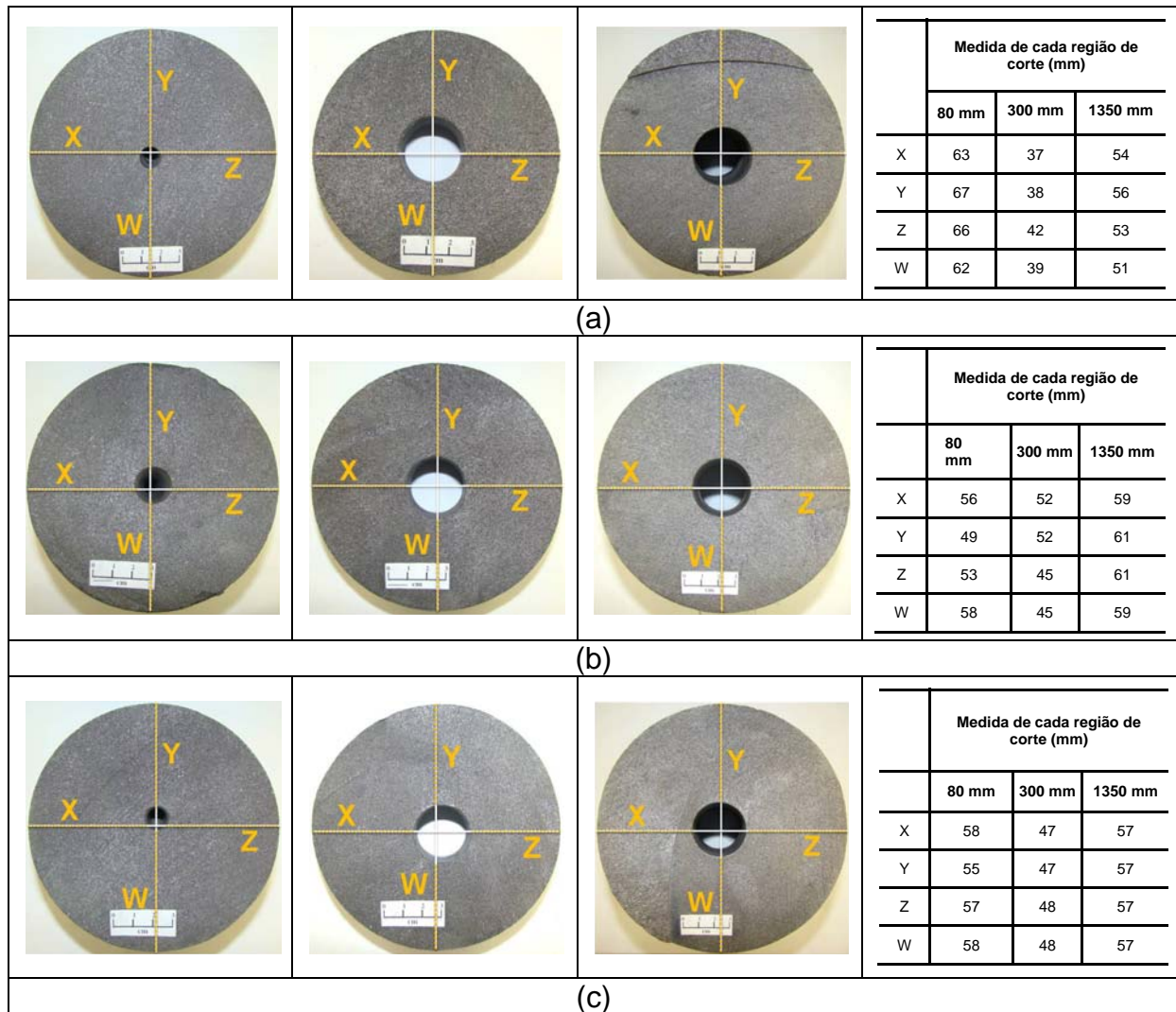
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análises e Ensaio Realizados nos Corpos e Pontas dos Tampões

#### 3.1.1 Análise visual e medição das dimensões dos tampões

Após os cortes de preparação dos corpos de prova, foi realizada uma inspeção visual nos tampões, com o objetivo de identificar possíveis defeitos estruturais. Os materiais apresentaram um aspecto homogêneo e não foram constatadas anormalidades, como trincas ou outros defeitos. Entretanto, nas regiões seccionadas de 80 mm, 300 mm e 1.350 mm foi observada uma descentralização do pino ou diâmetro interno do tampão em todas as amostras analisadas, sendo que a maior descentralização ocorreu no tampão da amostra B, seguido do tampão A.

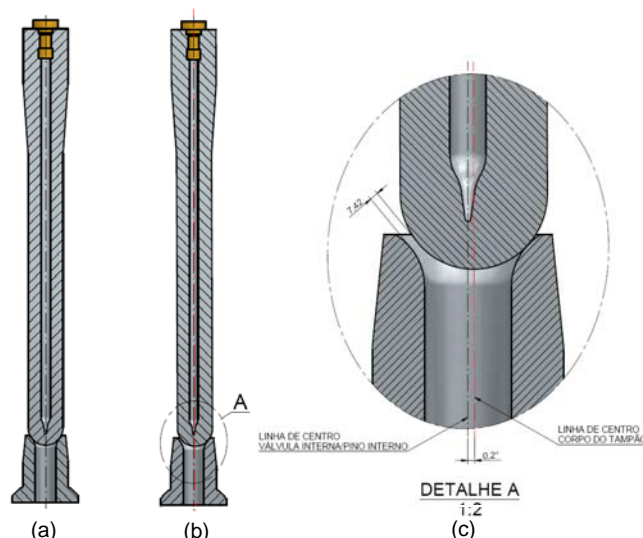
Na Figura 1 são representadas as três regiões analisadas de cada amostra de tampão, com suas respectivas dimensões.



**Figura 1.** Fotografias e medidas das dimensões dos tampões: A (a), B (b) e C (c).

O tampão é obtido através de um processo de prensagem isostática com o objetivo de garantir a homogeneidade das propriedades físicas em todo o volume da peça. Deste modo, falhas no processo produtivo, como a descentralização do pino ou diâmetro interno do tampão, podem acarretar em heterogeneidade de suas propriedades, como redução da resistência mecânica.

Outro problema causado pela descentralização do pino interno está relacionado ao desgaste irregular da ponta do tampão devido ao contato com a válvula interna do distribuidor. Com o inserto do tampão descentralizado, ocorrerá uma rotação no corpo do tampão no sentido de manter o sistema haste/inserto na direção vertical, conforme mostrado na Figura 2. Esse desgaste pode acarretar em uma redução na eficiência do controle do fluxo de aço para o molde, com a geração de fluxos assimétricos ou até mesmo na quebra do tampão durante a operação devido aos esforços diferenciais sofridos na região da ponta.



**Figura 2.** Encaixe do tampão na válvula interna: com o pino interno centralizado (a); com o pino interno descentralizado (b) e, em detalhe, o contato tampão/válvula interna do distribuidor com o pino interno descentralizado (c).

### 3.1.2 Caracterização microestrutural

A composição de fases das pontas e corpos dos tampões é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição de fases das pontas e corpos dos tampões

TAMPÃO	C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Si
A-PONTA	P	P	RO	R
A-CORPO	P	P	ND	R
B-PONTA	P	P	RO	R
B-CORPO	P	P	ND	R
C-PONTA	P	ND	RO	P
C-CORPO	P	P	ND	P

*Legenda: P = Presente, R = Residual e ND = Não detectado, RO = Resultado omitido*

Foram omitidas as informações referentes à composição das pontas dos tampões, para que não fossem identificados os fornecedores. Desta forma, destaca-se a presença do elemento silício, encontrado em quantidade significativa no tampão C. Na Tabela 2 são apresentados os componentes identificados pela análise de microscopia ótica e eletrônica de varredura nas amostras dos tampões A, B e C.

**Tabela 2.** Componentes identificados nas análises de microscopia das pontas e corpos dos tampões.

TAMPÃO	C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Si	CaSiO <sub>3</sub> e MgSiO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Ti	B <sub>4</sub> C	SiC	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub>
A-PONTA	P	RO	RO	ND	P	P	P	P	ND	P
A-CORPO	P	P	ND	P	P	P	P	P	P	ND
B-PONTA	P	RO	RO	ND	P	P	P	P	P	P
B-CORPO	P	P	ND	P	P	P	P	ND	ND	P
C-PONTA	P	RO	RO	P	P	ND	ND	P	P	ND
C-CORPO	P	P	ND	P	ND	ND	P	ND	ND	ND

*Legenda: P = Presente, ND = Não detectado, RO = Resultado omitido*



O silício, titânio, carbeto de boro e carbeto de silício têm efeitos positivos na proteção contra a oxidação do carbono. A zircônia e a mulita, identificadas por microscopia ótica e eletrônica de varredura, apresentam elevada refratariedade contribuindo para um aumento da resistência do tampão. Por outro lado, os silicatos de cálcio e de magnésio, encontrados nos grãos de alumina ou magnésia eletrofundidos, são prejudiciais uma vez que formam compostos que apresentam, em sua maioria, pontos de fusão inferiores aos da alumina ou magnésia, o que, conseqüentemente, reduz a resistência da peça refratária.

### 3.1.3 Resistência mecânica

Os resultados encontrados para avaliar a resistência a flexão a quente estão apresentados na Figura 3.

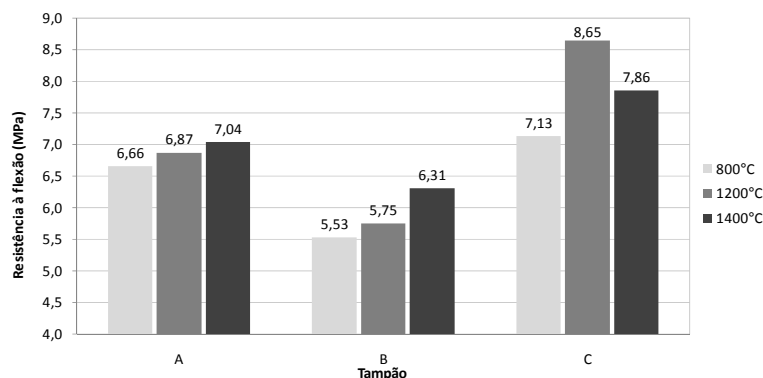


Figura 3. Resistência à flexão nas temperaturas de 800°C, 1.200°C e 1.400°C.

Como pode ser observado na Figura 3, o tampão C apresentou melhor resistência à flexão em todas as temperaturas de ensaio e o tampão B mostrou-se menos resistente. Valores baixos de resistência mecânica a quente podem acarretar na quebra do tampão durante a operação devido, principalmente, aos constantes movimentos de abertura e fechamento do tampão durante o controle do fluxo de aço.

Na Figura 4 são apresentados os resultados para avaliar a resistência a compressão dos tampões

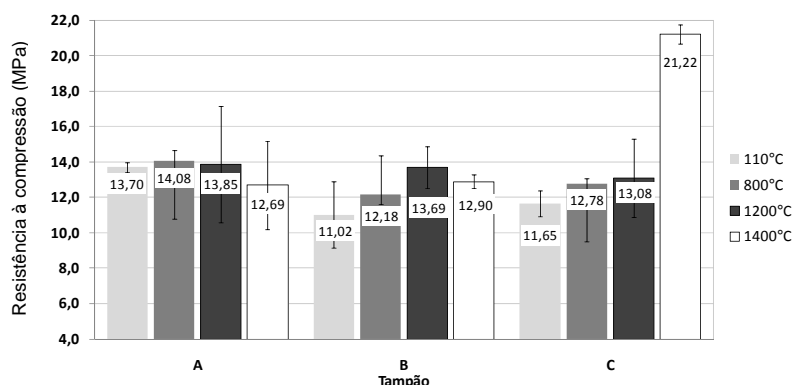


Figura 4. Resistência à compressão nas temperaturas de 110°C, 800°C, 1.200°C e 1.400°C.

Os resultados registrados na Figura 4 indicam elevados valores de desvios padrão para algumas amostras, independentemente da temperatura analisada. Tal fato prejudica a análise dos dados e pode induzir também a questionamentos quanto à homogeneidade do material que constitui o tampão refratário. Entretanto, de uma



forma geral, foi possível constatar uma acentuada elevação da resistência a compressão na temperatura de 1.400°C para o tampão C.

Para tentar explicar essa grande alteração de resistência a compressão, foram determinadas as fases por difratometria de raios-X das amostras do tampão C após coqueificação na temperatura de 300°C (i) e após coqueificação a 1.400°C (ii). Foi possível observar na temperatura de 300°C a presença significativa de silício metálico. Entretanto, a 1.400°C não foi detectada a presença desse antioxidante.

Embora também não tenham sido observadas as linhas de difração de raios-X do SiC para as amostras coqueificadas a 1.400°C, provavelmente em virtude da pequena quantidade desta fase, a elevação da resistência a compressão para estes sistemas normalmente está relacionada à formação de fases secundárias, tais como: SiC e SiO<sub>2</sub>, a partir da oxidação do silício. Estudos realizados<sup>(2)</sup> em refratários de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relatam que, acima de 1.100°C, ocorre a oxidação da superfície das partículas de Si e que, na temperatura de 1.300°C, as partículas de Si desaparecem completamente. Em seguida, possivelmente ocorre um processo de volatilização múltipla que leva à condensação de fases gasosas na forma de SiO<sub>2(s)</sub> vítreo (equação 1). A formação de SiO<sub>2(s)</sub> vítreo reduz o tamanho dos poros, o que pode acarretar em uma melhoria das propriedades mecânicas dos refratários.<sup>(2)</sup>



Como a difração de raios-X detecta somente fases cristalinas, o SiO<sub>2(s)</sub> vítreo (amorfo) não foi observado. A redução dos tamanhos dos poros para amostra C, na temperatura de 1400°C, pode ser inferida pelos resultados de porosidade encontrados no ensaio de porosimetria de mercúrio.

### 3.1.4 Resistência à oxidação

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à oxidação estão registrados na Tabela 3. As três amostras de tampões apresentaram uma redução de porcentagem de carbono semelhante (diferença entre o teor inicial e final de carbono), o que possivelmente acarreta em uma quantidade de vazios similares após a oxidação. Entretanto, as amostras dos tampões A e B apresentaram os maiores índices de oxidação e menores teores de carbono final, o que sugere melhor resistência à oxidação para o tampão C.

**Tabela 3.** Índice de oxidação dos tampões

Tampão	Teor de carbono inicial (%)	Teor de carbono após oxidação (%)	Índice de oxidação (%)
A	23,8	9,09	61,8
B	24,8	8,53	65,6
C	28,9	14,9	48,4

Os resultados encontrados para o ensaio de oxidação podem estar relacionados à presença de antioxidantes. Como apresentado nas análises por difração de raios-X (Tabela 1), nas amostras A e B foi encontrado o agente antioxidante Si apenas em quantidade residual, enquanto que na amostra C, este foi encontrado em quantidade significativa.

O alto índice de oxidação provoca uma redução da resistência mecânica do tampão e pode acarretar na quebra durante a operação. Além disso, a oxidação pode contribuir para ocorrência de um desgaste erosivo e químico significativo nas áreas de maiores solicitações como a linha de escória e a ponta do tampão.



É importante lembrar que o ensaio de oxidação foi realizado em corpos de prova sem a camada de tinta externa (*Glaze*).

### 3.1.5 Densidade e porosidade aparente

Na Tabela 4 são apresentados os valores de densidade de massa específica aparente e porosidade aparente obtidos.

**Tabela 4.** Valores obtidos de densidade de massa aparente e porosidade aparente

	Tampão		
	A	B	C
Densidade de massa aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,61	2,58	2,46
Porosidade aparente (vol.%)	12,73	13,59	15,50

Os valores encontrados para as três amostras ficaram muito próximos dos valores e/ou faixas especificadas pelos fabricantes.

### 3.1.6 Porosimetria de mercúrio

Os resultados encontrados referentes à área total de poros, média do diâmetro dos poros, densidade aparente e porosidade estão registrados na Tabela 5. Foi observado que para os tampões, com exceção do corpo do tampão C, os valores de porosidade apresentaram muito próximos. Além disso, o tampão C apresentou uma média de diâmetro de poros inferior aos demais tampões, o que pode ser relacionado a presença do silício e, conseqüentemente, formação da sílica vítrea.

**Tabela 5.** Resultados obtidos no ensaio de porosimetria de mercúrio

Tampão	Área total de poros (m <sup>2</sup> /g)	Média do diâmetro dos poros (µm)	Densidade aparente (g/mL)	Porosidade (%)
A-PONTA	2,483	0,0937	3,347	16,28
A-CORPO	3,071	0,0862	3,044	16,74
B-PONTA	2,159	0,1024	3,336	15,55
B-CORPO	2,936	0,0882	2,971	16,11
C-PONTA	3,172	0,0837	3,037	16,76
C-CORPO	3,997	0,0798	3,300	20,77

## 3.2 Análises e Ensaio Realizados para Avaliação do *Glaze* dos Tampões

### 3.2.1 Resistência à oxidação

As fotografias dos corpos de prova após o ensaio de avaliação do *Glaze* estão apresentadas na Figura 5. O *Glaze* é uma camada de tinta que tem grande influência na vida do tampão refratário, pois durante seu aquecimento ocorre a formação de um filme impermeável sobre a peça que evita a penetração de oxigênio, protegendo o carbono contra oxidação.



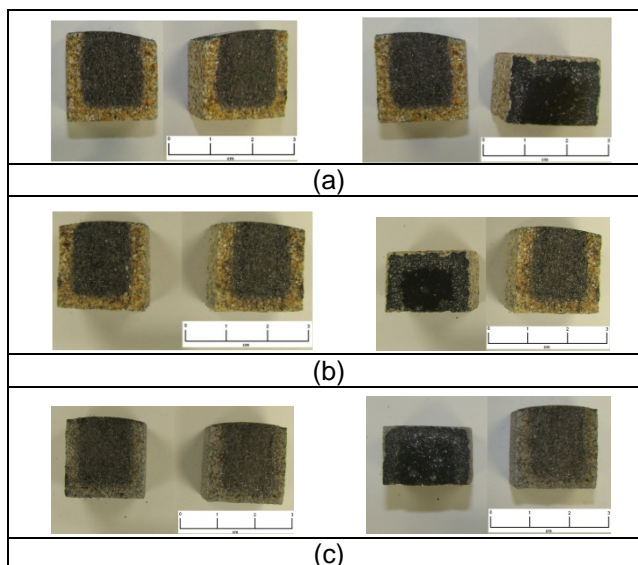


Figura 5. Fotografias dos corpos de prova dos tampões após oxidação: A (a), B (b) e C (c).

Como pode ser observado na Figura 5, em todas as amostras ocorreu uma oxidação significativa nas laterais dos corpos de prova que não estavam cobertas pela camada de tinta (*Glaze*). Já a região coberta pela tinta permaneceu com um aspecto visual inalterado, ou seja, aparentemente sem oxidação. Tais evidências confirmam a grande importância do *Glaze* na proteção contra a oxidação.

## 3.2.2 Caracterização microestrutural

### 3.2.2.1 Superfície do *Glaze*

As fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as microanálises realizadas na superfície da tinta (*Glaze*) dos tampões B e C são apresentadas na Figura 6.

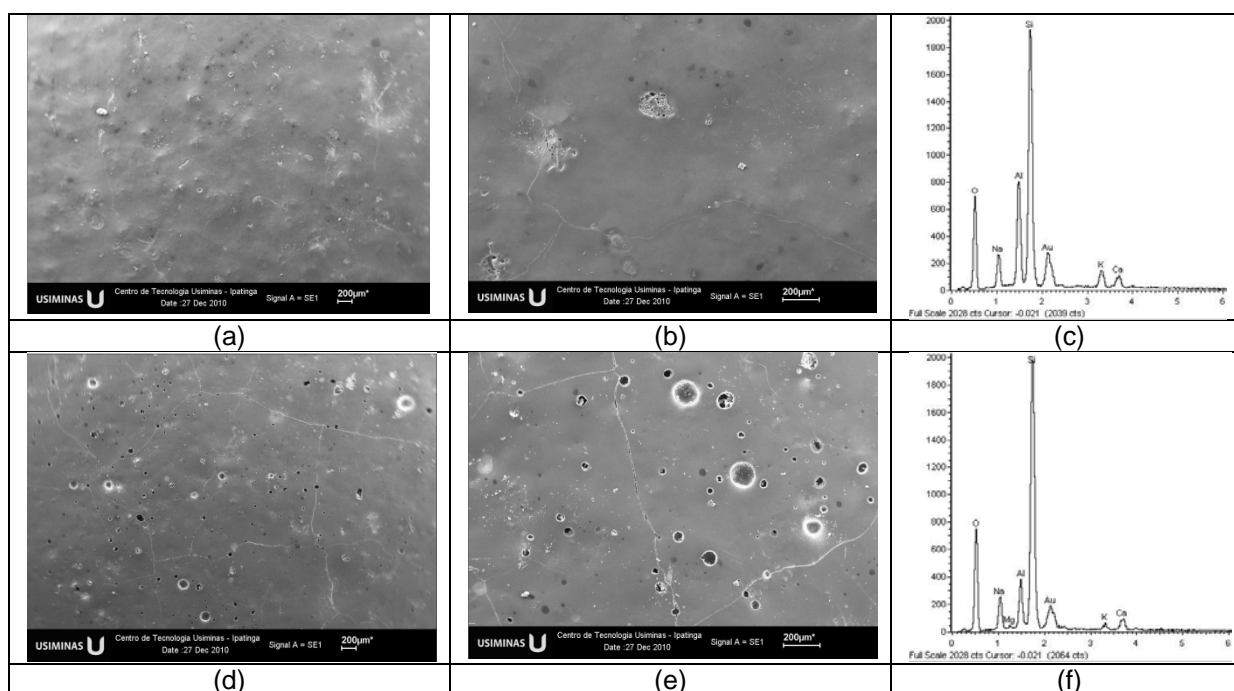


Figura 6. Análise microestrutural: fotomicrografias (a) e (b), microanálise (c) do *Glaze* do tampão B, fotomicrografias (d) e (e) e microanálise (f) do *Glaze* do tampão C.



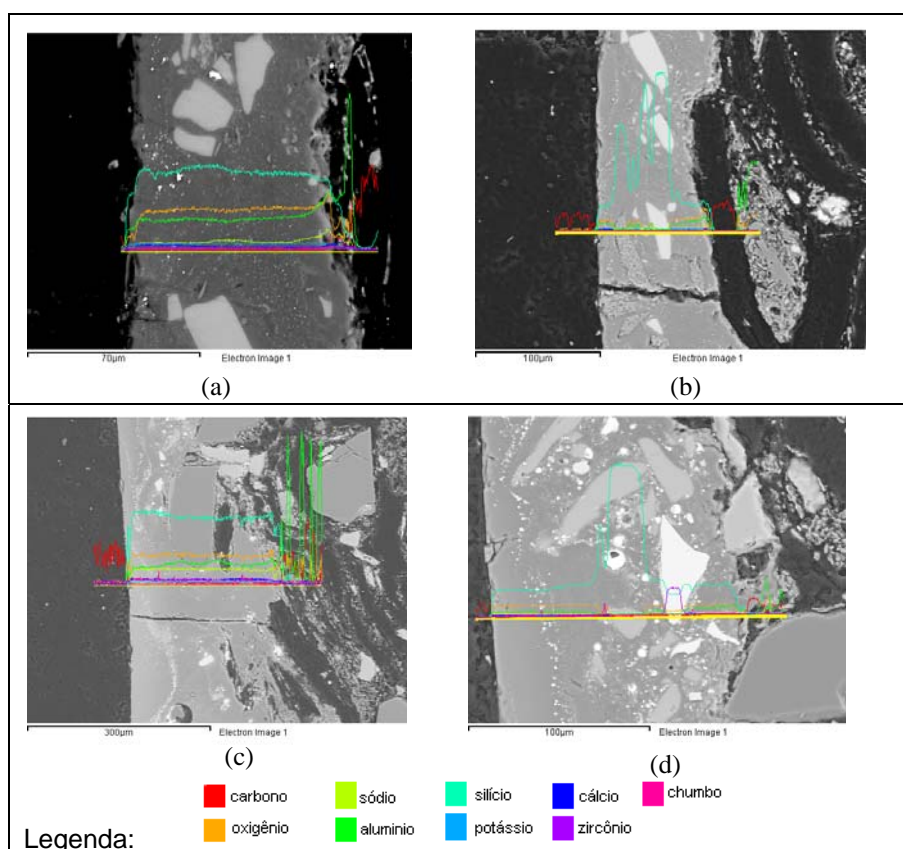
Na Figura 6 notou-se a presença de poros e trincas, sendo que na amostra do tampão C esses defeitos foram mais significativos. Acredita-se que essas trincas sejam geradas nos tratamentos térmicos realizados durante o processo produtivo, devido às diferenças de coeficientes de dilatação térmica do material refratário e do *Glaze*.<sup>(3)</sup>

Os poros observados majoritariamente na camada superficial de *Glaze* do tampão C seriam formados devido à saída de gases gerados pela oxidação de algum componente da tinta ou do próprio material refratário.<sup>(4)</sup>

Tanto as trincas como os poros são defeitos importantes que comprometem a eficiência da tinta refratária, tornando-se canais preferenciais para difusão de oxigênio para o material refratário, causando, conseqüentemente, a oxidação deste.

### 3.2.2.1 Interface do *Glaze* com o refratário

Foram realizadas análises empregando recursos de microscopia eletrônica de varredura em duas regiões distintas dos tampões B e C (Figura 7).



**Figura 7.** Fotomicrografias da interface *Glaze*/refratário: tampão B (a) e (b), e tampão C (d) e (e).

O *Glaze* do tampão B é composto por óxido de silício ( $\text{SiO}_2$  vítreo) e óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) em quantidade proporcionalmente inferior, permeada por partículas de silício (Si) e carbeto de silício (SiC). No tampão C, além dos componentes encontrados no tampão B, foram identificadas a presença de zirconita ( $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ ) e uma quantidade pontual de chumbo.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo consistiu na avaliação visual e determinação das propriedades físicas e químicas de tampões utilizados na Usiminas Ipatinga. Os resultados de análise



visual e medição das dimensões dos tampões indicaram que as amostras dos tampões A e B apresentaram maiores descentralizações de seu diâmetro interno, menor resistência à oxidação e resistência à flexão a quente, em relação a amostra de tampão C.

Quanto à análise superficial da tinta (*Glaze*), observou-se a presença de trincas e poros em quantidade superior para a amostra do tampão C, embora não tenha sido determinada ainda sua influência na resistência à oxidação.

Acredita-se que, pela análise realizada nos corpos dos tampões, a superior resistência à oxidação e resistência mecânica do tampão C esteja associada à sua elevada quantidade de silício (Si).

De uma forma geral, os resultados obtidos permitiram conhecer melhor as principais propriedades dos tampões de distribuidores de lingotamento contínuo.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – **Curso de Refratários e Insumos para Lingotamento Contínuo** – Agosto de 2008.
- 2 QUINTELA, M. A. **Caracterização de cerâmicas refratárias para panela de aço.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- 3 VASCONCELOS, W. L.; PEREIRA, M. M. – **Introdução à Cerâmica** - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.
- 4 QUIAN, G. F.; HE, J. L., XIOA, H. S.; KE, Zhi L.; Guo, D. S. Silicon carbide coating to protect carbon/carbon composites against oxidation. **Scripta Materialia**, 2005, v.52, p 923-927.