



Tema: Aciaria Elétrica

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES REFRAATÁRIAS DE LUVAS EBT (ECCENTRIC BOTTOM TAPPING) E RELAÇÃO COM O DESEMPENHO EM OPERAÇÃO*

Jakson Mattiello¹
 Ricardo Thomé da Cruz²
 Luciano Ramos Marques³
 Saulo Roca Bragança⁴

Resumo

No panorama mundial da siderurgia, nota-se a crescente necessidade de redução dos custos de produção do aço e uma das formas de chegar a este objetivo se dá por meio da seleção junto aos fornecedores de refratários, de peças de menor custo, por vezes, advindas de insumos menos nobres. Entretanto, é fundamental que esses materiais continuem garantindo a eficiência operacional. Este trabalho teve como objetivo analisar a performance de diferentes tipos de luvas refratárias utilizadas em canal EBT (Eccentric Bottom Tapping) quando em operação no forno elétrico a arco. Para a realização de estudo foram selecionadas amostras de luvas refratárias com diferentes concepções. Essas amostras foram caracterizadas por meio de análises químicas, físico-químicas e microestruturais. Os resultados foram relacionados ao desempenho em operação no forno elétrico a arco. A partir dos dados obtidos foi possível concluir que com o conhecimento adequado das propriedades dos materiais, incluindo-se sua microestrutura, e das condições de operação é possível utilizar luvas refratárias de menor custo garantido a segurança e desempenho operacional dos fornos elétricos a arco.

Palavras-chave: Refratários; EBT; Forno elétrico a arco.

ANALYSIS OF REFRACTORY PROPERTIES OF GLOVES EBT (ECCENTRIC BOTTOM TAPPING) AND RELATIONSHIP WITH PERFORMANCE IN OPERATION

Abstract

In the global panorama of steel, there is a growing need to reduce production costs and one way to achieve this goal is through the selection from the suppliers of refractory, lower cost of parts, sometimes resulting in less noble materials. However, it is essential that these materials continue to ensure operational efficiency. This study aimed to analyze the performance of different types of refractories used in Eccentric Bottom Tapping for operation in electric arc furnace. For conducting the study samples with different concepts were selected. These samples were characterized by chemical, physico-chemical and microstructural analyzes. The results were related to performance in operation in electric arc furnace. From the data obtained it was concluded that with the proper knowledge of material properties, including their microstructure and operating conditions it is possible to use lowest cost refractories and ensure the security and good operational performance of electric arc furnaces.

Keywords: Refractories; EBT; Electric arc furnace.

¹ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Engenheiro Metalúrgico, Gerdau, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (PPGEM), UFRGS, Laboratório de Cerâmicos LACER, Porto Alegre, RS, Brasil

³ Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (PPGEM), UFRGS, Engenheiro Metalúrgico, Gerdau, Porto Alegre, RS, Brasil

⁴ Engenheiro Químico, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (PPGEM), UFRGS, Laboratório de Cerâmicos (LACER), Porto Alegre, RS, Brasil.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A produção de aço em fornos elétricos a arco pode ser dividida em quatro etapas principais; carregamento (um ou mais), fusão, refino oxidante e vazamento, conforme demonstrado na Figura 1.

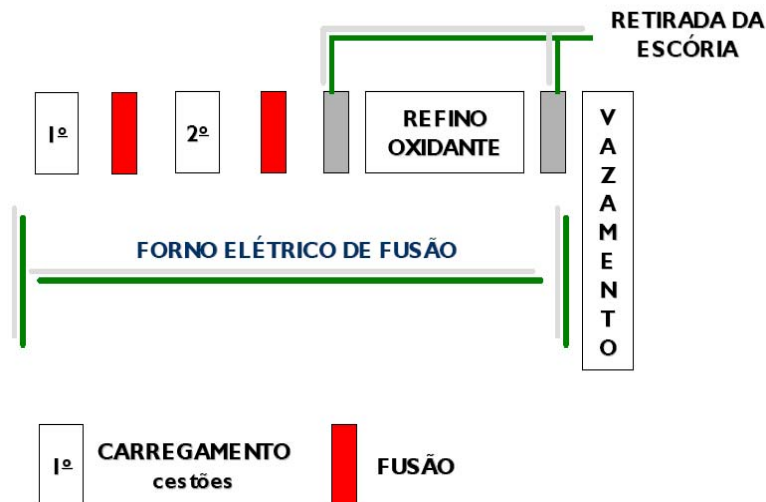


Figura 1. Fluxo do processo de carregamento e operação do forno elétrico [1].

Após o final do processamento do aço no FEA o mesmo deve ser transferido para a panela para que siga para a etapa de refino secundário, a esta etapa dá-se o nome de vazamento [2]. Atualmente existem dois sistemas principais para a transferência do aço do forno elétrico para a panela: o vazamento por bica convencional ou por canal EBT (Eccentric Bottom Tapping).

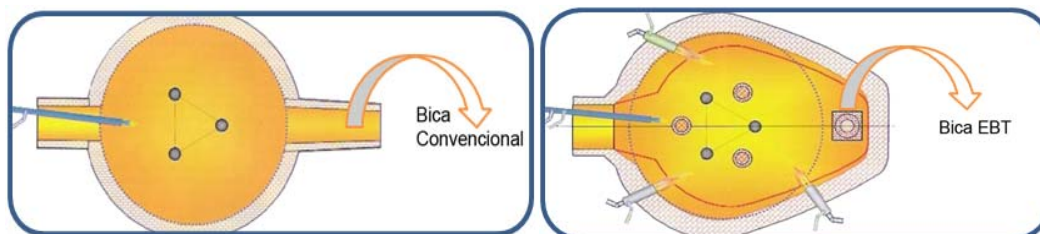


Figura 2. Forno modelo convencional e EBT [3].

Nos fornos com bica convencional o aço é vazado pela parte lateral do forno em uma abertura que se encontra na extremidade oposta à porta de escória e que é comumente conhecida como bica de vazamento. Nos fornos equipados com canal EBT o aço é vazado por uma bica excêntrica, posicionada na parte inferior do forno como pode ser observado na Figura 2.

O canal EBT é composto por um conjunto de luvas refratárias segmentadas as quais são montadas uma sobre a outra formando um canal por onde se dá o fluxo do aço do forno para a panela

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

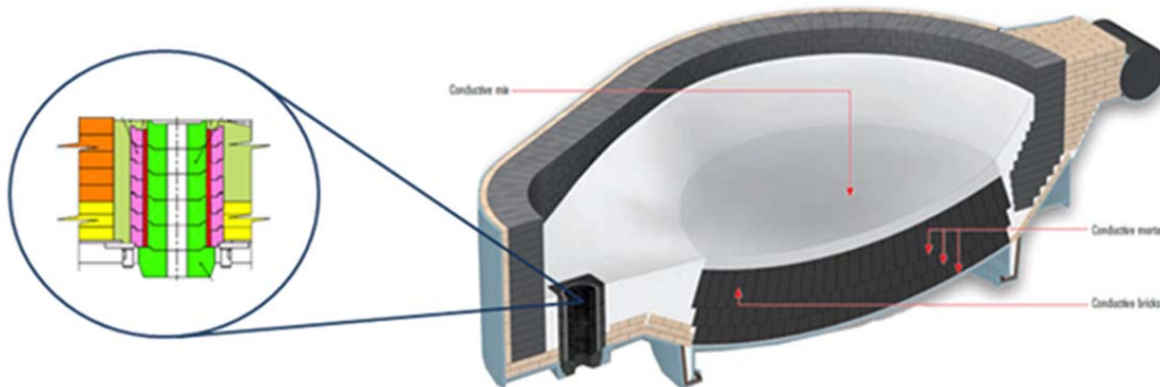


Figura 3. Forno elétrico a arco em corte e detalhe do conjunto de luvas EBT [4].

Na Figura 3 pode-se observar o Forno Elétrico a Arco em corte mostrando a posição do canal EBT assim como o detalhe do conjunto de luvas após a montagem.

Como principais vantagens da utilização do canal EBT em relação à bica convencional, pode-se citar a redução de passagem de escória do FEA para a panela, a possibilidade de manter certa quantidade de aço no forno, para auxiliar na fusão do próximo carregamento, e a segurança operacional. Como desvantagem, tem-se o alto custo dos materiais refratários empregados no canal EBT.

Além disso, sabe-se que, de acordo com o tipo de refratário empregado e a região em que o mesmo se encontra, o grau de corrosão química pode variar bastante na degradação do material. Fenômenos mecânicos também podem exercer considerável influência, como a erosão, abrasão e esforços de compressão, flexão e tração [5].

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo analisar as características e propriedades das luvas refratárias do canal EBT relacionando com o desempenho em operação no forno elétrico a arco, buscando componentes de menor custo, mas que garantam o desempenho operacional desejado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Três luvas refratárias de concepções distintas foram analisadas neste trabalho. A composição química das amostras é mostrada no quadro 1 conforme dados fornecidos pelos fabricantes. Pode-se notar a diferença de teores de MgO principalmente das amostras A e B em relação a amostra C. Da mesma forma, nota-se uma diferença considerável no teor de carbono das amostras A e B em relação a amostra C.

Quadro 1. Análise química das amostras de luvas (fornecido pelos fabricantes)

Composição	% MgO	% C	% CaO	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃
Amostra A	91	12,8%	-	-	-	-
Amostra B	89 – 92	12- 14%	-	-	-	-
Amostra C	97,5	6%	1,9%	0,4%	0,1%	0,1%

Ao analisarmos as propriedades físicas fornecidas pelos fabricantes identificamos materiais com densidades aparentes, à temperatura ambiente, bastante similares. As principais diferenças encontradas estão nas demais propriedades, a amostra C possui uma porosidade aparente menor que as demais amostras, assim como uma resistência à compressão consideravelmente maior.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Quadro 2. Análises físicas das amostras de luvas (fornecido pelos fabricantes)

-	Den. Aparente g/cm ³	Porosidade Aparente %	Resistência a Compressão N/mm ²
Amostra A	3,05	2,70	55
Amostra B	2,98 - 3,02	2 - 5	> 50
Amostra C	3,19	1	80

A avaliação de fases presentes foi realizada a partir de análise em difratômetro Phillips modelo X'Pert MPD. A microestrutura foi analisada em Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV (Hitachi, TM3000). Para esta análise, as amostras foram colocadas sobre um suporte de alumínio previamente preparado com uma fita adesiva de carbono. As amostras foram obtidas por corte a seco e o polimento foi igualmente realizado a seco, com lixas de grana crescente (de 100 a 1200).

3 RESULTADOS

3.1 Luva A

A Figura 4 mostra o aspecto geral da microestrutura da Luva A mostrando agregados de tamanhos grandes e matriz de carbono.

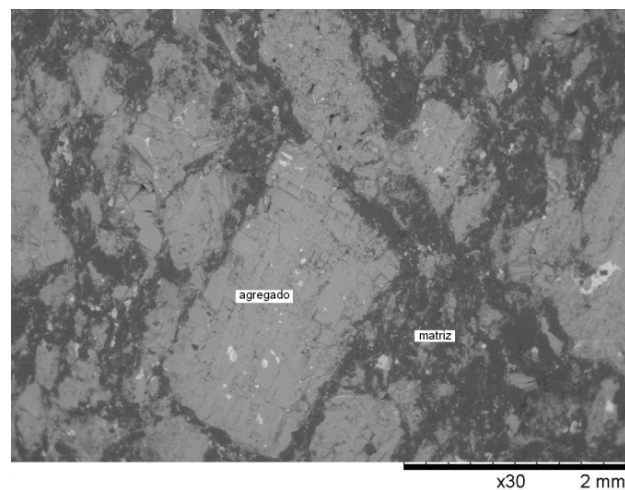


Figura 4. Aspecto geral da Luva A.

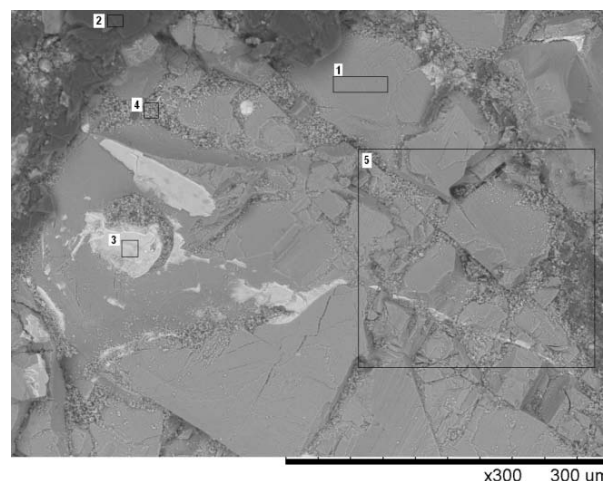


Figura 5. Análise química via microsonda da luva A. Pontos e áreas relacionados ao Quadro 3.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Em maiores magnitudes, pode-se observar que os agregados são de magnésia eletrofundida e a matriz rica em carbono grafite (Figura 5). Além disso, é usual encontrar alguma contaminação, conforme mostrado nas áreas mais brancas dentro dos agregados.

Quadro 3. Análise química via microsonda da luva A, relacionado à Figura 5

Elementos / % peso	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
C	13,79	86,05	11,80	45,56	25,09
O2	43,02	10,61	43,27	33,44	40,43
Mg	42,41	3,00	10,42	18,00	32,23
Al	0,22	0,20	0,19	1,34	-
Si	0,08	0,05	9,28	0,54	0,20
Ca	0,47	0,09	24,08	1,43	0,57
Outros			0,86		0,78

As análises químicas das áreas da luva A (Quadro 3) mostram uma pureza significativa dos agregados (área 1 e 5), com exceção da área 3, que apresenta uma composição típica de uma fase de baixa temperatura de fusão. A área 4 caracteriza uma possível hidratação incipiente do material, enquanto a área 2 apresenta uma morfologia típica de grafite.

Em outra análise da mesma amostra (Figura 6) observa-se a presença de partículas de alumínio, de acordo com a composição das áreas 2, 3 e 4 no Quadro 4. Este material atua como antioxidante, sendo comum seu uso em tijolos de MgO-C utilizados em linha de escória de panela de aço. Em caso de reação destas partículas de alumínio com a magnésia é possível a formação de espinélio, o que aumentaria a resistência ao choque térmico, além do bloqueio dos poros ao oxigênio.

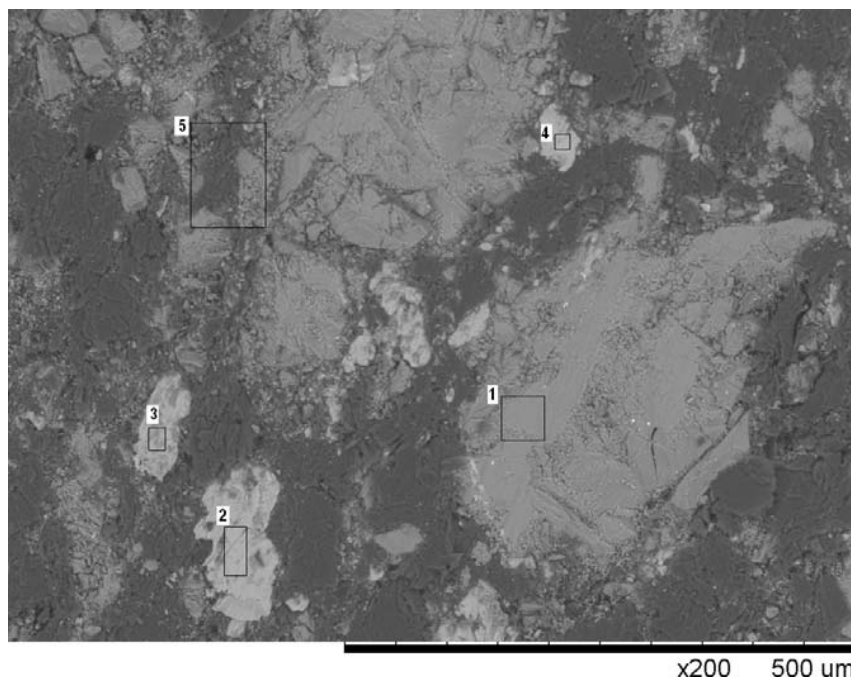


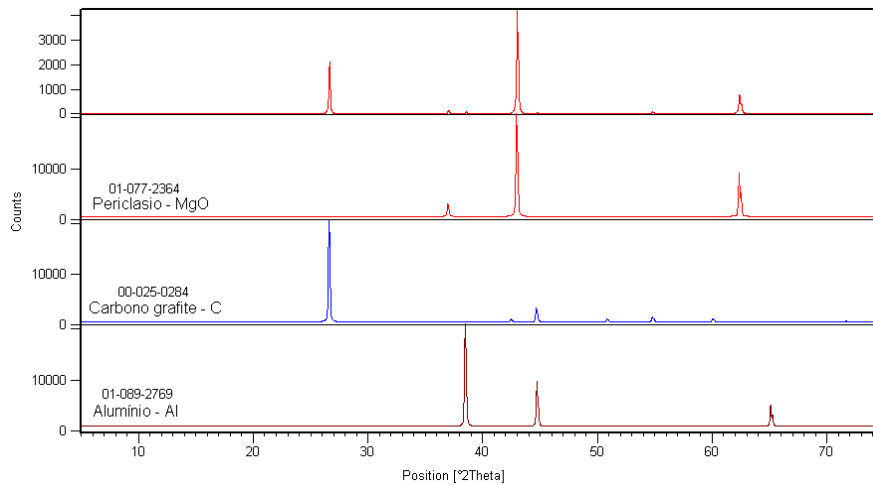
Figura 6. Análise química via microsonda da luva A. Pontos e áreas relacionados ao Quadro 4.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Quadro 4.** Análise química via microsonda da luva A, relacionado à Figura 6

Elementos / % peso	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
C	23,07	46,25	45,67	38,85	54,03
O2	35,53	10,08	16,21	11,37	28,62
Mg	37,24	3,52	8,02	4,32	15,45
Al	-	40,01	29,93	45,39	1,65
Si	-	0,07	0,09	-	0,09
Ca	0,32	0,06	0,08	0,08	0,16
Outros	Br 1,84				

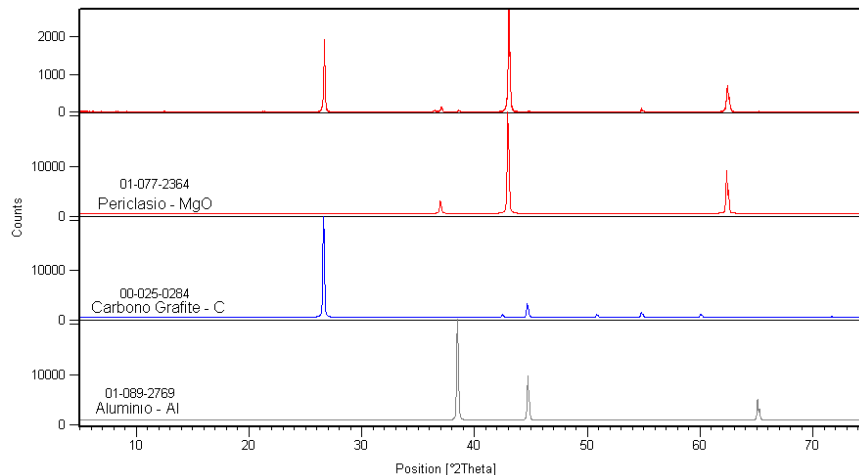
Pela análise de difração de raios-X pode-se identificar claramente os picos de MgO e Carbono o que está de acordo com a especificação do fabricante. Além disso, a peça apresenta antioxidante de alumínio.

**Figura 7.** Análise de difração de raios-X da luva A.

Por fim, pode-se concluir se tratar de um material de boa pureza, confirmando a análise em MEV.

3.2 Luva B

Na análise por difração de raios-X da luva B (Figura 8) foi possível observar a semelhança das fases minerais com a luva A.

**Figura 8.** Análise de difração de raios-X da luva B.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

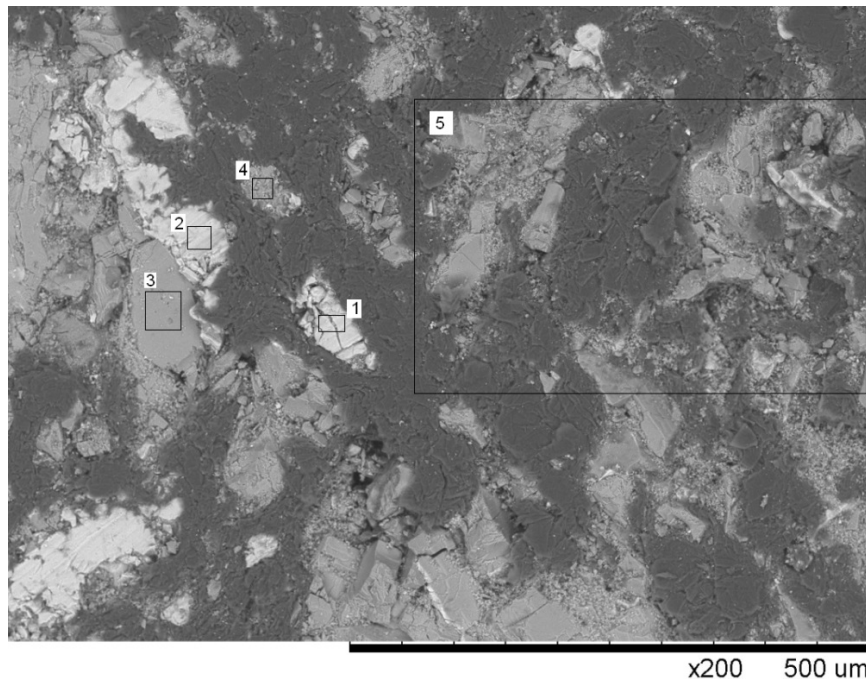


Figura 9. Análise química via microsonda da luva B. Pontos e áreas relacionados ao Quadro 5.

Quadro 5. Análise química via microsonda da luva A, relacionado à Figura 9

Elementos / % peso	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
C	36,85	33,14	19,87	35,31	64,28
O ₂	11,02	7,98	42,52	36,19	23,94
Mg	27,62	30,27	25,61	26,40	10,99
Al	18,92	23,08	-	-	0,33
Si	0,13		-	0,10	0,09
Ca	0,37		0,32	0,32	0,20
Fe	0,11		0,19	0,15	0,15
Outros	Er 4,98	Er 5,53	Br 1,48	Br 1,53	

A análise em MEV/EDS (Figura 9 e Tabela 5) mostra novamente partículas de magnésia e grafite como os principais constituintes. Em princípio a pureza é um pouco menor em relação à amostra A, já que se observam maiores teores de ferro (área 3 e 5). Segundo informações do fornecedor trata-se do material eletrofundido de uma zona mais externa da poça de fusão, o que gera grãos eletrofundidos menos nobres que os encontrados na amostra A.

3.3 Luva C

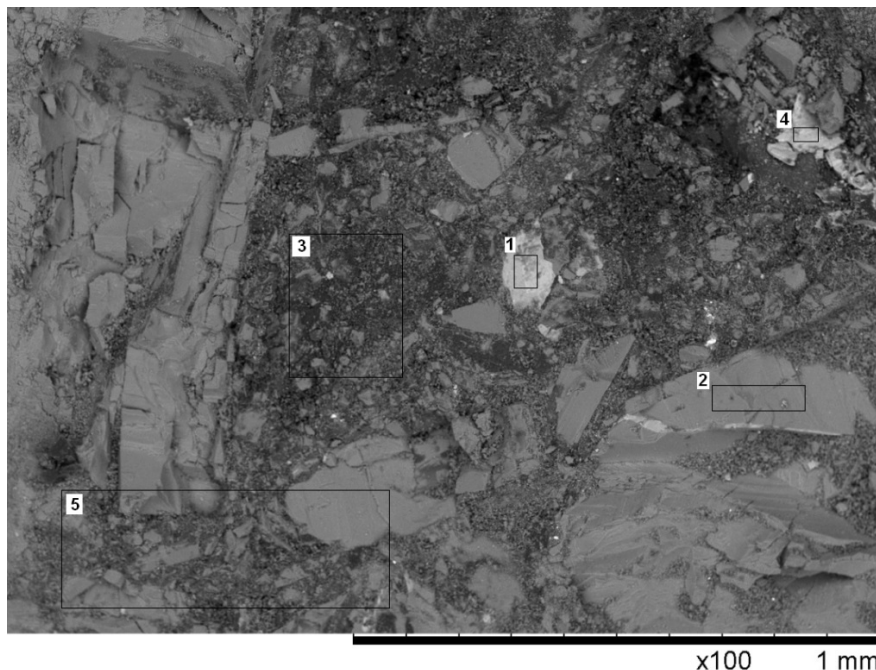


Figura 10. Análise química via microsonda da luva C. Pontos e áreas relacionados ao Quadro 6.

Quadro 6. Análise química via microsonda da luva C, relacionado à Figura 10

Elementos / % peso	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
C	27,55	17,07	59,71	28,17	36,97
O ₂	38,23	42,49	24,95	33,39	35,14
Mg	12,54	39,48	14,06	12,03	26,57
Al	-	-	-	-	-
Si	8,65	0,1	0,15	7,78	0,15
Ca	12,75	0,25	0,33	16,00	0,40
Fe	-	0,49	0,16		0,34
Outros	S 0,27	S 0,12	S 0,64	P 1,63 S 0,39 Cl 0,20 Sn 0,40	S 0,42

A análise da luva C apresenta uma peça que possui algumas diferenças em relação aos materiais das amostras A e B. Pode-se observar teores bem menores de carbono, sendo provavelmente um material resinado em vez de ligado à piche, e não possui grafite, apenas carbono amorfo (Figura 10 e Quadro 6). Outra diferença é a ausência de antioxidante de Al na amostra C. Os teores de contaminantes são significativamente maiores, inclusive com partículas grandes ricas em cálcio (áreas 1 e 4). A análise de DRX confirma a ausência de carbono cristalino e Al, apresentando apenas o periclásio (Figura 11).

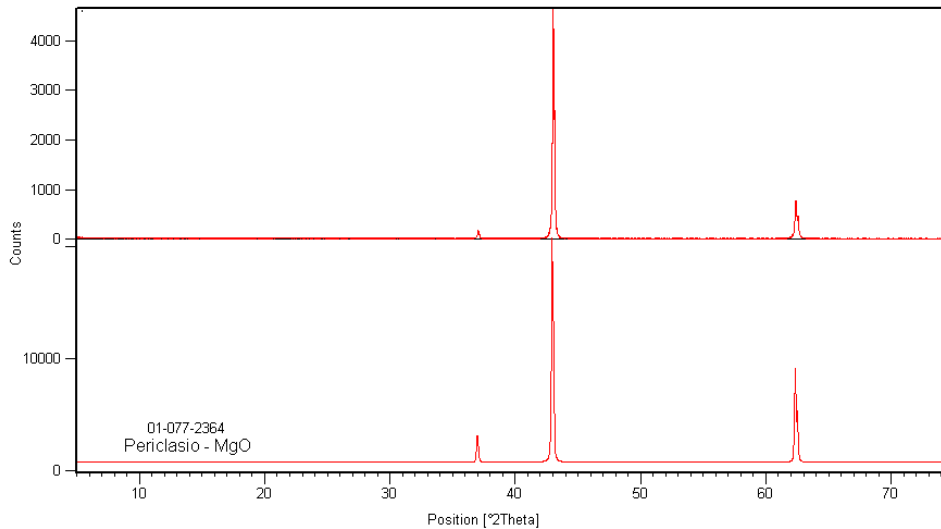


Figura 11. Análise de difração de raios-X da luva C.

4 DISCUSSÃO

Em relação ao desgaste durante a operação as três luvas tiveram desempenho similar e não houveram problemas operacionais durante os testes. Mesmo quando submetidas ao limite de vida padrão da aciaria as luvas de menor custo tiveram desgaste uniforme, pode-se observar na Figura 12 que tanto a parede das luvas quanto o canal de vazamento mantiveram-se íntegros em todas as luvas testadas.

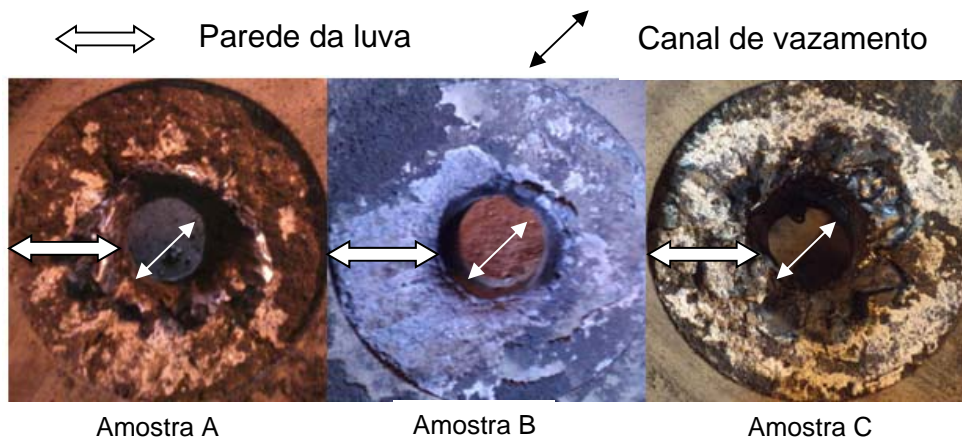


Figura 12. Luvas após utilização.

Tendo em vista os aspectos observados, concluiu-se que as três luvas testadas atendem tecnicamente a condição operacional da Aciaria, tornando possível a utilização de luvas de menor custo com uma economia de até 36,88% nestes materiais.

* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

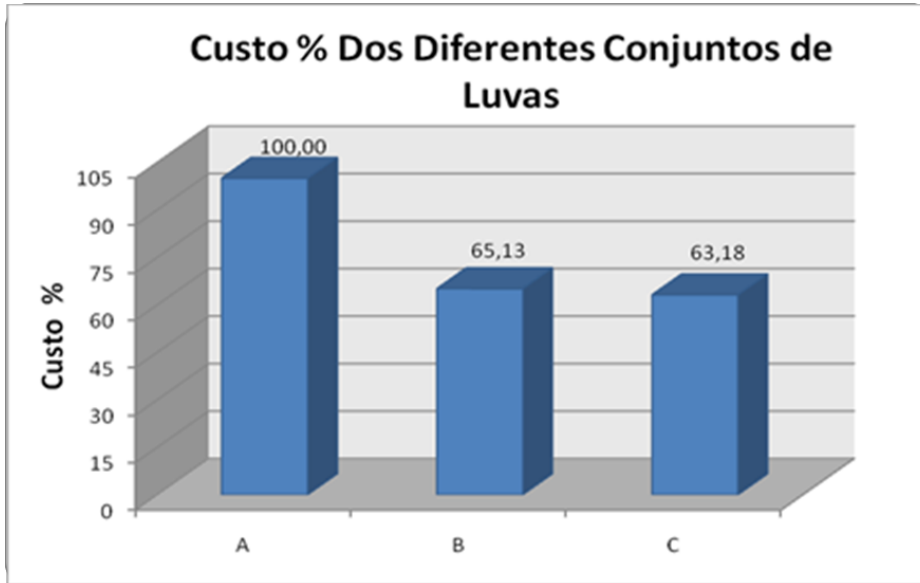


Figura 13. Gráfico de diferença percentual do custo das luvas.

5 CONCLUSÃO

Após a caracterização das luvas selecionadas e testes de desempenho em operação, concluiu-se que as três luvas investigadas atendem tecnicamente as necessidades da aciaria na qual foram testadas. Por fim, foi possível concluir que com o conhecimento adequado das propriedades dos materiais, incluindo-se sua microestrutura, e condições de operação é possível utilizar luvas refratárias de menor custo, garantindo-se o mesmo desempenho dos materiais, bem como a segurança e mesmo desempenho operacional da aciaria. As diferenças entre as propriedades dos materiais testados, como porosidade, resistência mecânica, tipo de ligação, teor de carbono não propiciaram diferenças no desempenho, considerando-se o intervalo testado e fato de não serem avaliadas separadamente.

Agradecimentos

A Gerdau pela possibilidade da realização deste estudo.
Ao Laboratório de Cerâmicos da UFRGS pelo apoio técnico na realização das análises e discussão dos resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 Vilela ACF. Caderno Técnico de Siderurgia II-A. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2008.
- 2 Mourão MB. Introdução a Siderurgia. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais; 2007.
- 3 Figueira RMF. Operação de forno elétrico a arco. São Paulo: Gerdau; 2007.
- 4 RHI. Caderno Técnico RHI. Disponível em: <http://www.rhi-ag.com/>.
- 5 Bragança SR. Aspectos teóricos e práticos sobre a corrosão de refratários utilizados na siderurgia. Caracterização de Refratários *Post Mortem*. Cerâmica. 2014;57:1142-43