

PRODUÇÃO DE CERÂMICAS REFRAATÁRIAS UTILIZANDO A BORRA DO ALUMÍNIO COM DIFERENTES ADIÇÕES DE MULITA

R. C. Mota⁽¹⁾, R. Argonz⁽¹⁾, R. E. F. Q. Nogueira⁽¹⁾, J. M. Sasaki⁽²⁾, L. R. Oliveira⁽¹⁾

(1) Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Campus do Pici, Bloco 714, Caixa Postal 12144, CEP 60455-760, Fortaleza, Ceará, Brasil argonz@ufc.br

(2) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física.

RESUMO

A borra do alumínio, subproduto da produção desse metal, contém uma grande quantidade de óxidos de alto ponto de fusão que a convertem num produto com grande potencial para ser utilizado como material refratário. Para melhorar as propriedades mecânicas das peças obtidas a partir da borra, foi adicionada uma carga, neste caso mulita, com porcentagens variando entre 0 e 35% em peso. As misturas foram prensadas uniaxialmente em forma de barras e sinterizadas aos 1400°C por uma hora. Foi realizado o ensaio de cones pirométricos para determinar a refratariedade das misturas. Foram feitos ensaios: de retração de queima apresentando valores segundo o conteúdo crescente de mulita entre 1,48 e 7,97%; porosidade aparente entre 41,35% e 8,59%, absorção de água entre 22,16 e 3,70%; massa específica aparente entre 1,86 g/cm³ e 2,59 g/cm³, ensaio de ruptura à flexão em três pontos entre 14,14 MPa e 56,35 MPa.

Palavras chave: borra, alumínio, mulita, refratários.

INTRODUÇÃO

O processo de fundição de alumínio gera uma escoria, denominada borra, que contém grande quantidade de óxidos de alto ponto de fusão que a convertem numa forte candidata para ser usada como material refratário. Na literatura existem alguns trabalhos que utilizam a borra pura para produzir peças refratárias^(1,2), mas as mesmas têm baixas propriedades mecânicas e térmicas. Com o intuito de melhorar esta situação, na maioria dos casos, é desejável misturar as borras com um óxido ou

precursor antes da calcinação. O óxido metálico ou precursor pode ser qualquer material capaz de produzir um produto refratário com a borra, e a razão entre borra e óxido precursor pode ser escolhida para se obter um produto desejado⁽³⁾. Por exemplo, o óxido metálico pode ser óxido de magnésio usado numa quantidade apropriada para a produção de espinélio [MgO]. $[Al_2O_3]$ ⁽⁴⁾, ou sílica, usada numa quantidade apropriada para a formação de mulita $[Al_2O_3].[SiO_2]$. Outros óxidos apropriados são CaO, NiO, TiO_2 , e seus precursores tais como silicatos de cálcio. Além disso, óxidos complexos podem ser empregados, como por exemplo óxidos metálicos em combinação com óxido de alumínio (aluminossilicatos). Deve ser mencionado que não é necessário utilizar composições estequiométricas para produzir produtos refratários. Alguns exemplos são: a) obtenção de espinélio: as borras de alumínio resíduo do tratamento com plasma foram misturadas com MgO numa relação de peso 100:31 e reagidas a uma temperatura de 1300°C por 1.5 h. O produto foi analisado por difração de raios-X que mostrou que era essencialmente $MgAl_2O_4$. O produto tinha um tamanho de partícula de 2-5 μm ; b) argila em pó de Preston e borra, recuperada depois da remoção de Al por tratamento de plasma, foram misturadas juntas numa relação de peso de 1:1 e depois queimadas a 1400°C por uma hora. A difração de raios-X mostrou que os produtos foram principalmente mulita (majoritário), alumina (médio) e espinélio (médio)⁽³⁾.

Materiais cerâmicos refratários alumino-multicos podem ser produzidos a partir de um rejeito industrial da fundição do alumínio rico em alumina e outras matérias-primas de baixo custo (Ball Clay, caulim e diatomita). Os corpos feitos desse material foram prensados uniaxialmente e sinterizados a temperaturas de 1250°C até 1650°C para estudar os processos de multização. Para tempos de aquecimento superiores a 80h formou-se mulita^(5,6).

Nesta pesquisa foram acrescentados diferentes teores de mulita à borra pura com a finalidade de melhorar suas propriedades de porosidade aparente, massa específica aparente, absorção de água e resistência a flexão em três pontos.

MATERIAIS E METODOS

O material que serviu de base para esse estudo é proveniente de uma indústria de recuperação do alumínio (Majoq), localizada no município de Maracanaú, região

metropolitana de Fortaleza, CE, cuja análise por fluorescência de raios-X é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química por fluorescência de raios-X da borra calcinada⁽⁷⁾

Al ₂ O ₃	SiO ₂	ZrO ₂	V ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	Cl	MgO	K ₂ O	ZnO	CuO	TiO ₂
79,625	6,597	0,041	1,106	2,456	1,278	4,107	1,645	0,791	0,181	0,132	2,039

O material recebido foi moído em moinho de bolas durante 21 horas e peneirado a seco obtendo-se uma granulometria de 100 mesh e posteriormente calcinado a uma temperatura de 600°C durante uma hora, com uma taxa de aquecimento de 5°C/min.

Foi utilizada uma mulita fundida branca do tipo MUB TP-325 da Elfusa cuja análise de fluorescência de raios-X é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 Análise de fluorescência de raios-X da mulita MUB TP-325

Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
75,0517	24,0064	0,0142	0,1708	0,0267	0,2325	0,0894	0,4083

Para melhorar as propriedades mecânicas das peças obtidas a partir da borra, foi adicionada uma carga de mulita, com porcentagens variando entre 0 e 35%. As misturas foram prensadas uniaxialmente em forma de barras de 116X25X12 mm³ e sinterizadas aos 1400°C por uma hora taxa de aquecimento de 5°C/min.

Foi realizado o ensaio de cones pirometricos das misturas para determinar sua refratariedade pelo método usual (PCE).

Ensaio físicos

Retração linear

Para realização do ensaio, os corpos-de-prova foram medidos com paquímetro depois de submetidos à sinterização.

A retração linear das peças sinterizadas foi determinada através da Equação A:

$$RL(\%) = \left(\frac{L_0 - L_f}{L_0} \right) \cdot 100 \quad (A)$$

onde L_0 é o comprimento inicial do corpo-de-prova (após secagem) e L_f é o comprimento final do corpo-de-prova (após sinterização).

Absorção de água

A fim de determinar a absorção de água dos corpos-de-prova produzidos, estes foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e em seguida pesados. Após esse procedimento os corpos-de-prova foram postos sob imersão em um recipiente contendo água destilada por 24 horas. Em seguida, os corpos-de-prova foram enxutos suavemente com uma flanela ligeiramente úmida e logo em seguida pesados.

A absorção de água é expressa percentualmente pela Equação B

$$ABS (\%) = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (B)$$

onde m_s é a massa do corpo-de-prova seco e m_u é a massa do corpo-de-prova úmido (saturado).

Porosidade aparente

Com o objetivo de calcular a porosidade aparente dos corpos-de-prova, além das medições feitas para a realização do cálculo da absorção de água, também foi realizada a pesagem dos corpos-de-prova imersos em água, após 24 h do momento de sua imersão. A porosidade aparente (PA) é expressa percentualmente de acordo com a Equação C

$$PA (\%) = \left(\frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \right) \cdot 100 \quad (c)$$

onde m_u é a massa do corpo-de-prova úmido (saturado), m_s é a massa do corpo-de-prova seco e m_i é a massa do corpo-de-prova imerso.

Massa específica aparente

A massa específica aparente é calculada pela Equação D

$$MEA = \frac{m_s}{m_u - m_i} \cdot \rho_{\text{água}} \quad (D)$$

onde m_s é a massa do corpo-de-prova seco, m_u é a massa do corpo-de-prova úmido (saturado), m_i é a massa do corpo-de-prova imerso e $\rho_{\text{água}}$ é a densidade da água.

Ensaio de flexão em três pontos

Foi realizado num deflectômetro BP/20 da BP Engenharia do Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Ceará. Os resultados podem ser obtidos fazendo-se uso da Equação E:

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{PL}{a^2 b} \quad (E)$$

onde:

σ é resistência à flexão (kg/cm^2);

P é a carga atingida no momento da ruptura (kg);

L é a distância entre apoios (cm) ;

a é a espessura do corpo-de-prova (cm);

b é a largura do corpo-de-prova (cm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de cones pirométricos foi conduzido até uma temperatura de 1400°C para todas as misturas, sem que houvesse sido constatada qualquer deformação dos corpos, correspondendo esta temperatura ao cone pirométrico N° 14.

Nesta pesquisa foram utilizados cinco corpos de prova livres de defeito para cada porcentagem de adição de mulita, assim como para a borra pura.

A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio de retração linear para os diversos corpos de prova com 0, 5, 15, 20, 25, 30 e 35% de mulita.

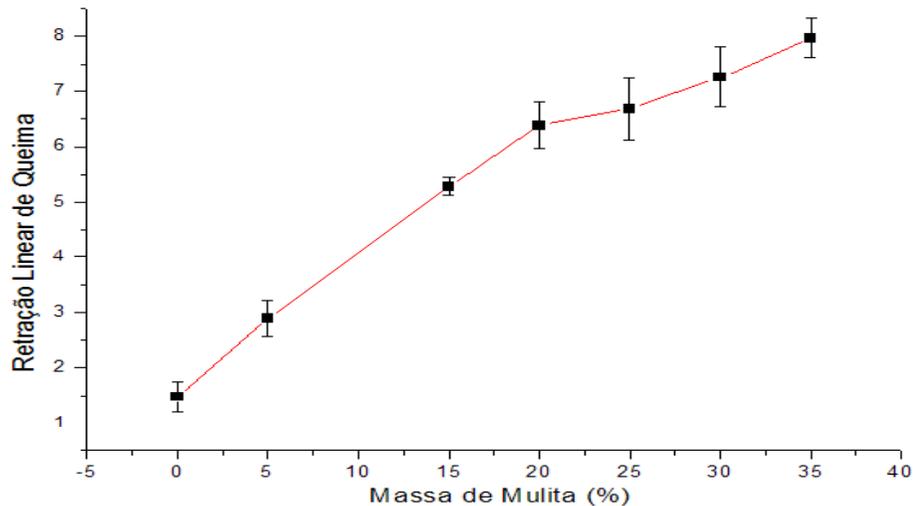


Figura 1 Ensaio de retração linear de queima

A análise do gráfico da Figura 1 mostra uma tendência de aumento da retração linear com o aumento da porcentagem de mulita.

Os resultados do ensaio de absorção de água para os corpos de prova com 0, 5, 15, 20, 25, 30 e 35% de mulita são mostrados na Figura 2. Infere-se da figura que a absorção de água diminuiu com o aumento de conteúdo de mulita chegando a um valor mínimo de 3,70 % para uma porcentagem de mulita de 35%.

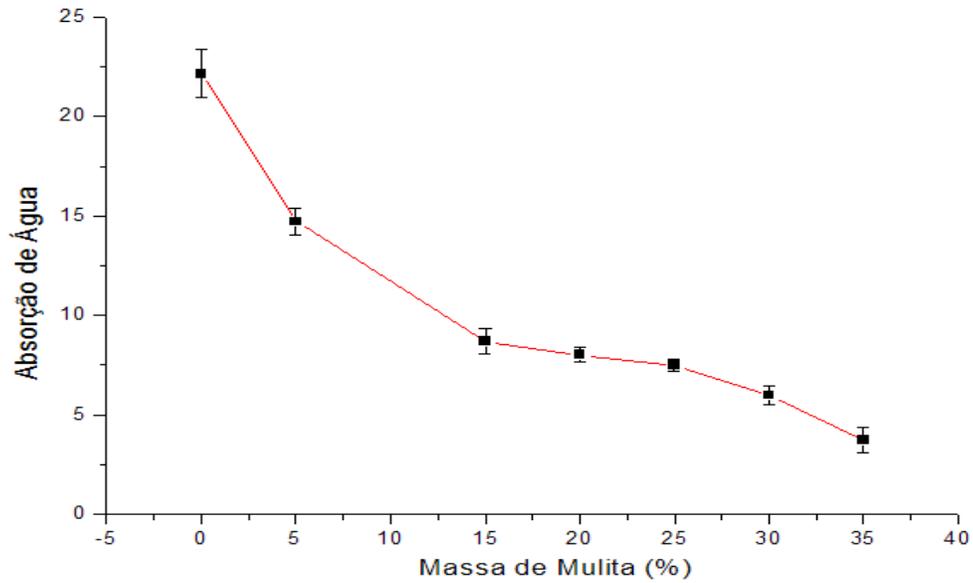


Figura 2. Ensaio de absorção de água

A Figura 3 mostra a variação da porosidade com o aumento da porcentagem de mulita das amostras produzidas. Os resultados comprovam que os corpos de prova sinterizam melhor à medida que a porcentagem de mulita aumenta.

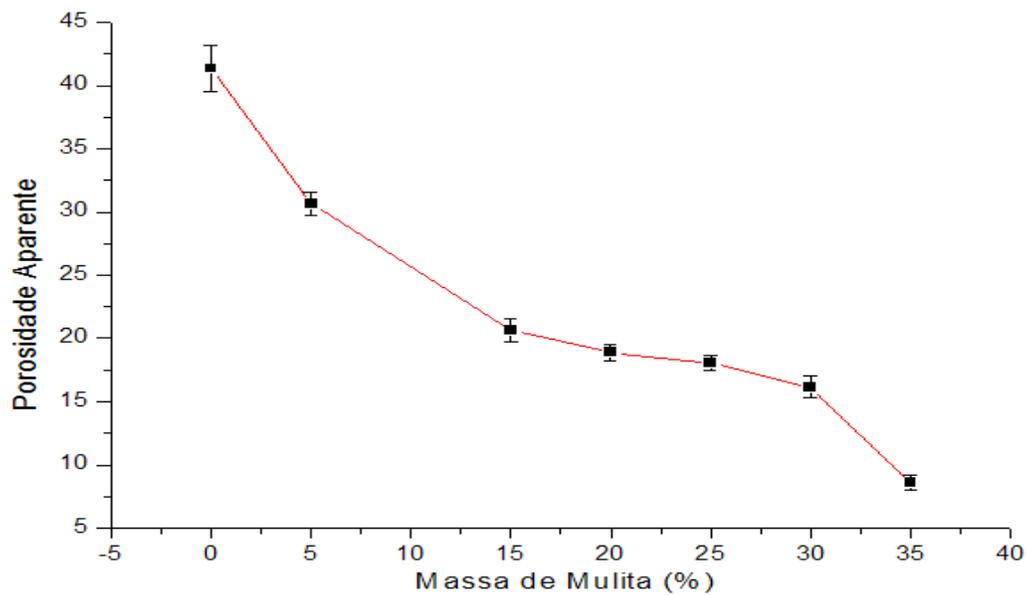


Figura 3. Ensaio de porosidade aparente

Os resultados da análise da massa específica aparente também estão ligados à quantidade de poros existentes no corpo cerâmico sinterizado. Na Figura 4 aparecem os valores para os diferentes teores de mulita.

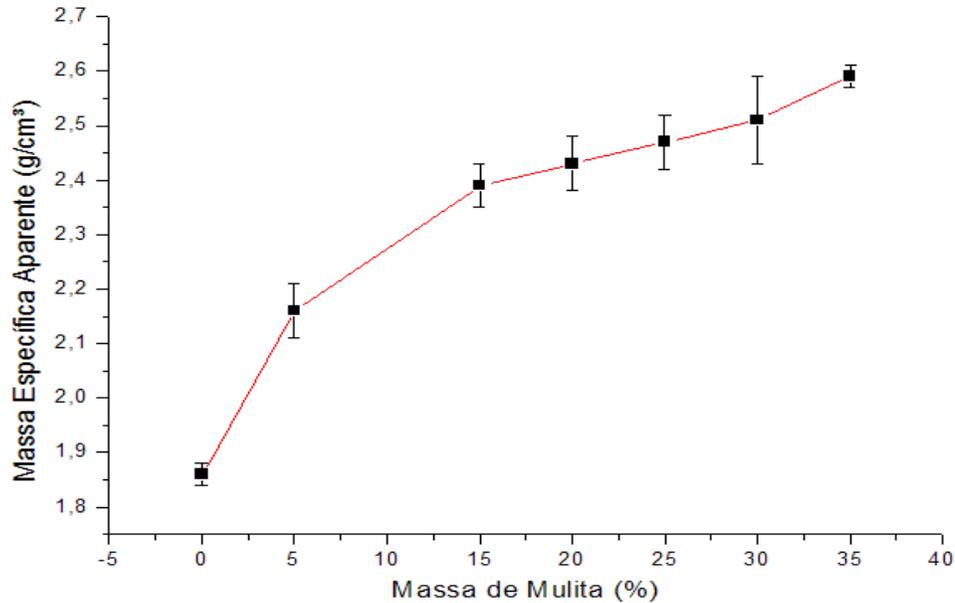


Figura 4 Ensaio de massa específica aparente

Foram realizados ensaios de resistência à flexão para as porcentagens de mulita variando entre 0 e 35%. Os resultados apresentados na Figura 4 correspondem a uma média aritmética dos valores obtidos.

Foi observada uma tendência de aumento do módulo de resistência a flexão com o aumento da porcentagem da mulita, o que já era esperado devido à menor porosidade do material.

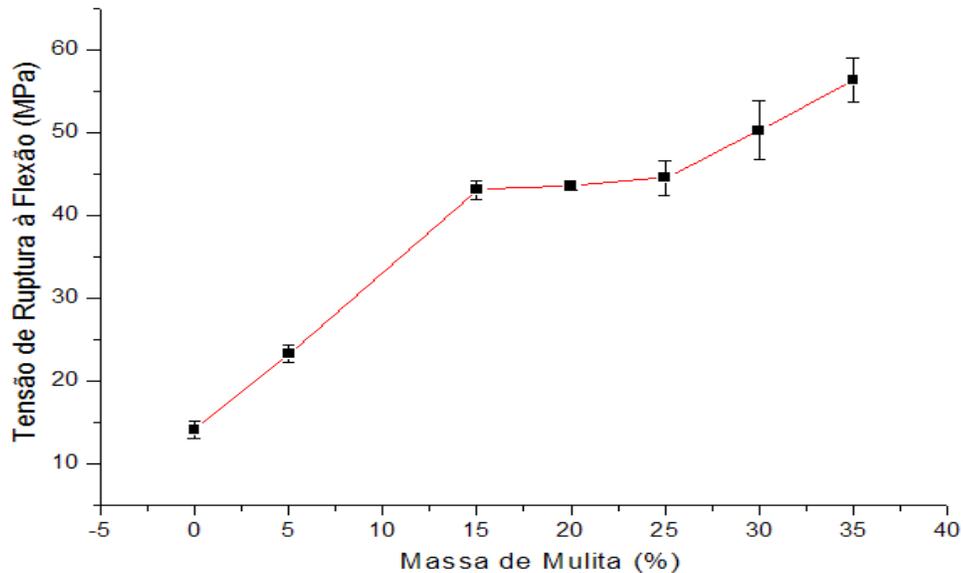


Figura 5 Ensaio de tensão de ruptura à flexão

Para efeito de comparação, verifica-se que um tijolo comercial com 70% de alumina apresenta os seguintes valores⁽⁸⁾:

Absorção de água: 8.5-11%

Porosidade aparente: 19-22%

Massa específica aparente: 2.56 g/cm³

Resistência à flexão em três pontos: 14,2 MPa

Nesta pesquisa os valores mais próximos correspondem à adição de 15% de mulita:

Absorção de água: 8.69%

Porosidade aparente: 20.62

Massa específica aparente: 2.39 g/cm³

Resistência à flexão em três pontos: 43.11 MPa.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram testadas peças confeccionadas a partir de misturas de resíduos da produção do alumínio (borra) e diferentes porcentagens de mulita, com o objetivo de se desenvolver materiais refratários. O ensaio de cones pirométricos foi conduzido até uma temperatura de 1400°C para todas as misturas, sem que se constatasse qualquer deformação dos corpos, correspondendo esta temperatura ao

cone pirométrico N° 14. Verificou-se uma tendência de aumento da retração linear com a porcentagem de mulita. A absorção de água diminuiu com o aumento de conteúdo de mulita, chegando a um valor mínimo de 3,70 % para uma porcentagem de mulita de 35%. Observou-se uma diminuição da porosidade com o aumento da porcentagem de mulita das amostras produzidas. Os resultados da análise da massa específica aparente também indicam um aumento da mesma com o teor de mulita. Foi observada uma tendência de aumento do módulo de resistência à flexão com o teor de mulita, comprovando que os corpos de prova sinterizam melhor à medida que a porcentagem de mulita aumenta. Finalmente, observa-se que os resultados obtidos são comparáveis aos de tijolos refratários disponíveis no mercado, o que atesta a viabilidade de se trabalhar com essas misturas compostas, majoritariamente, de borra de alumínio.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao CNPq, Capes e Funcap (CE), pelo apoio financeiro, à técnica Auzineide Medeiros e à Engenheira Laíze Graze da Arnil Mineração do Nordeste, por realizarem os ensaios de cones pirométricos, e às Dras. Anália Martinez Tomba e Anália Cavalieri da Universidade Nacional de Mar Del Plata, Argentina, pelo fornecimento de material bibliográfico e discussões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nedochetko, A. P. F. S., da Cruz, A. C., Toffoli, S. M. Peças cerâmicas de alta alumina utilizando resíduo da reciclagem de alumínio em forno de plasma. **Anais** do 17 CBECIMat, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz de Iguaçu, PR, Novembro de 2006.
2. Yoshimura, H. N., Abreu, A. P., Molisani, A. L., de Camargo, A. C., Portela, J. C. S., Narita, N. E. Evaluation of aluminum dross waste as a

- raw material for refractories. *Ceramics International*, V. 34, p. 581-591, 2008.
3. Brinson, C., Chauvette, G., Kimmerle, F. M., Roussel, R. . US Patent 5132246. Process for using dross residues to produce refractory products.,1992,
 4. Dal Maschio, R. Refractory products obtained using aluminum rich recovered raw materials. *Ceramic Development*. V. 34, p. 735-739, 1988.
 5. Ribeiro, M. J., Tulyaganov, D. U., Ferreira, J. M., Labrincha, J. A. Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies. *Ceramics International*. V. 28, p. 319-326, 2002.
 6. Ribeiro, M. J., Tulyaganov, D. U., Ferreira, J. M., Labrincha, J. A. High temperature mullite dissolution in ceramic bodies derived from Al-rich sludge. *Journal of the European Ceramic Society*, V 25, p. 703-710, 2005.
 7. Mota, R. C., Argonz, R., Nogueira, R. E. Q. N, Sasaki, J, M., Oliveira, L. R. Utilização da borra do alumínio como matéria-prima para a produção de cerâmicas. In: 54 Congresso Brasileiro de Cerâmica, Foz de Iguaçu, PR, 2010, **Anais**,, São Paulo, ABC, 2010, Ref. 13-014
 8. Refractories Manual, Second Edition, American Foundrymens Society, USA.

PRODUCTION OF REFRACTORY CERAMICS USING ALUMINUM DROSS WITH DIFFERENT MULLITE ADDITIONS

ABSTRACT

Aluminum dross, a by-product from the production of aluminum, contains a large amount of high-melting point oxides which make it a potential candidate for a refractory material. In order to improve the mechanical properties of this material, different amounts of mullite (0 to 35 wt%) were added. The mixtures obtained were pressed into bars and sintered at 1400°C for 1h. The pyrometric cone equivalent (PCE) was determined. Linear retraction tests upon sintering gave results ranging from 1,48 and 7,97%, as the amount of mullite was increased. Apparent porosity and water absorption decreased with increasing amounts of mullite (from 41,35 to 8,59%,

and 22,16 to 3,70%, respectively). Apparent density increased with the amount of mullite (from 1,86 g/cm³ to 2,59g/cm³). The modulus of rupture (MOR), assessed by three-point bending, also increased with mullite content (from 14,14MPa to 56,35MPa).

Key-words: dross, aluminum, mullite, refractories.