

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE CERÂMICA VERMELHA INCORPORADA COM RESÍDUO DE VIDRO

A. S. C. Morais^{(1)*}; T. M. Louzada⁽²⁾; S. N. Monteiro⁽³⁾; C. M. F. Vieira⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto Federal Fluminense - IFF

Rua Dr. Siqueira, 273, Pq. Dom Bosco - Campos dos Goytacazes, RJ, 28030-130

⁽²⁾Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV

⁽³⁾Instituto Militar de Engenharia - IME

*e-mail: amorais@iff.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação de vidro em pó de lâmpada fluorescente, proveniente de um processo de descontaminação, nas propriedades físicas e mecânicas de uma cerâmica argilosa. Foram preparadas formulações, com percentuais de resíduo de vidro de até 30% em peso. Corpos-de-prova foram preparados por prensagem uniaxial a 20 MPa e queimados a 1000°C. As peças queimadas foram avaliadas em termos de: retração linear, absorção de água, tensão de ruptura à flexão e parâmetro de Weibull. A microestrutura das cerâmicas foi avaliada por microscopia ótica. Os resultados mostraram que o resíduo de vidro altera as propriedades físicas e mecânicas da massa argilosa caulínica, causando efeito benéfico na absorção de água e na resistência mecânica.

Palavras-chave: propriedades tecnológicas, cerâmica vermelha, resíduo, vidro de lâmpada fluorescente.

INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a industrialização e o incremento nas atividades configuram como os principais motivos da multiplicação dos resíduos. O crescimento acelerado da população implica na expansão automática da industrialização para atender às novas demandas, o que significa um aumento considerável no volume de resíduos gerados, tanto do ponto de vista doméstico quanto industrial.

Dentre os resíduos gerados encontra-se o vidro, que é um material totalmente reciclável, entretanto, quando descartado poderá ficar acumulado durante várias

gerações. Neste sentido, o resíduo de vidro se insere como um grave problema ambiental quando simplesmente descartado, pois há acúmulo de grande quantidade desse material que não é absorvida na natureza. O reaproveitamento de resíduos vítreos, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos finais e para a diminuição dos custos finais de sua produção⁽¹⁾.

O vidro do bulbo de lâmpada fluorescente encontra-se em uma categoria ainda mais complexa dentro do panorama da reciclagem de resíduos de vidro. De acordo com Raposo e colaboradores⁽²⁾, lâmpadas fluorescentes usam mercúrio como componente vital para seu funcionamento. Este metal altamente tóxico pode contaminar o solo, os animais e a água. O problema se agrava em proporções muito maiores se levarmos em consideração as projeções de consumo de lâmpadas fluorescentes.

Devido ao racionamento de energia, o governo tem preconizado mudanças nos hábitos de consumo através do programa brasileiro de substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes dentro do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf, 2011)⁽³⁾. A rigor, este programa determina que até junho de 2016, as lâmpadas incandescentes deixarão de ser produzidas ou comercializadas no país em função do gasto energético comparativamente menor de uma lâmpada fluorescente⁽⁴⁾. Esta decisão, no entanto, pode agravar os efeitos nocivos causados pela contaminação de mercúrio no meio ambiente em função do aumento da quantidade de lâmpadas fluorescentes descartadas.

Mesmo após um processo de descontaminação, os vidros do bulbo da lâmpada são impróprios para processos de reciclagens tradicionais e fabricação de um novo vidro, tornando-se imprescindível a busca por novas alternativas de destinação para estes resíduos⁽⁵⁾.

Neste contexto, o uso de lâmpadas fluorescentes pode representar uma significativa economia de energia elétrica. Porém, as substâncias químicas presentes em sua composição causam danos ambientais, se não tiverem a destinação correta. Esta questão tem levado pesquisadores e empresas a buscar soluções adequadas, atendendo as questões econômicas, sociais e ambientais, desenvolvendo-se assim técnicas de descontaminação e a reciclagem das lâmpadas fluorescentes.

A incorporação de resíduos de vidro em cerâmica vermelha é uma alternativa viável, devido à boa compatibilidade entre a argila e componentes do vidro sodo-cálcico atuando como fonte de sílica, além de óxidos fundentes, como sódio e potássio. Há mais de 50 anos, trabalhos têm se dedicado à incorporação de vidro para emprego em cerâmica vermelha⁽⁶⁻¹¹⁾.

A elevação dos teores de óxidos considerados fundentes, responsáveis pela densificação da estrutura durante a queima se apresenta como uma possibilidade de melhoria da qualidade da cerâmica com a utilização de vidro de lâmpadas fluorescentes, além da possibilidade de dar um destino ambientalmente correto para este tipo de resíduo. Na etapa de queima da cerâmica o vidro pode contribuir para a redução da porosidade, por meio da formação de fase líquida, reduzindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da incorporação do resíduo de vidro em pó de lâmpada fluorescente nas propriedades físico-mecânicas de uma massa argilosa utilizada na fabricação de cerâmica vermelha.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: massa argilosa caulínica (AC), empregada para fabricação de cerâmica vermelha, proveniente do município de Campos dos Goytacazes e o resíduo de vidro de lâmpada fluorescente (RVL) proveniente do processo de descontaminação de mercúrio. Durante o processo de descontaminação, as lâmpadas são trituradas em um equipamento denominado de “Papa-lâmpadas”, que realiza a absorção do mercúrio por um sistema de filtros contendo carvão ativado, os demais componentes da lâmpada são depositados em um tambor metálico. O resíduo de vidro gerado é do tipo sodo-cálcico, portanto, bom fundente e propício para ser reaproveitado na produção de cerâmica vermelha.

A argila foi inicialmente beneficiada por desaglomeração e peneiramento em 20 mesh. O resíduo de vidro, que se encontrava inicialmente triturado, foi peneirado e a fração passante na peneira de 100 mesh foi utilizada.

Foram elaboradas quatro composições com incorporação do resíduo na massa argilosa nos seguintes percentuais: 0; 10; 20 e 30% em peso (a massa 0%, sem adição do resíduo, é usada como referência). Estas composições foram

homogeneizadas em um recipiente que foi manualmente agitado durante 5 min. As massas foram, em seguida, umidificadas com 8% em peso de água.

Foram confeccionados corpos-de-prova por prensagem uniaxial a 20 MPa em matriz de aço no tamanho 114,3 x 25,4 x 10 mm. A secagem foi realizada em estufa a 110°C por 24 horas. A queima foi realizada em forno de laboratório tipo mufla na temperatura de 1000°C. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 2°C/min e isoterma de 120 min na temperatura de patamar. O resfriamento foi realizado com a mesma taxa de aquecimento. As propriedades físicas e mecânicas determinadas foram: absorção de água⁽¹²⁾, retração linear de queima e tensão de ruptura à flexão em três pontos⁽¹³⁾.

A estatística de Weibull⁽¹⁴⁾ foi aplicada com um número mínimo de 13 amostras, e o módulo de Weibull m foi obtido da tangente da curva de $\ln \ln (1/P)$ em função de $\ln s$, conforme a equação (A):

$$\ln \ln (1/P) = \ln V - m \ln \sigma_0 + m \ln \sigma \quad (A)$$

na qual P = probabilidade de sobrevivência, V = volume, σ_0 = parâmetro de ajuste da equação e σ = tensão de ruptura à flexão.

A microestrutura da superfície das cerâmicas queimadas foi avaliada por microscopia ótica (MO), por meio do microscópio confocal Olympus, modelo CGA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a absorção de água (AA) das massas cerâmicas queimadas a 1000°C, em função da quantidade de resíduo de vidro de lâmpada fluorescente incorporado na massa argilosa. Os resultados indicaram que com o aumento do teor de RVL, os valores de absorção de água diminuem.

Para tijolos, segundo a norma ABNT - NBR15270-1,⁽¹⁵⁾ o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Já a norma ABNT NBR - 15310⁽¹⁶⁾ indica que o limite máximo admissível da absorção de água para telhas cerâmicas é de 20%. É possível observar que o valor médio de AA das peças sem incorporação do resíduo não se enquadrou na norma para fabricação de blocos de vedação, nem de telhas.

A incorporação de 10% de resíduo de vidro influenciou as propriedades investigadas, mas de forma bastante limitada. Nota-se que as peças cerâmicas

incorporadas com 10% de resíduo ainda apresentam alta absorção de água, em torno de 20%. Com 20% e 30% de resíduo incorporado, nota-se mais claramente seu efeito na redução da porosidade aberta sobre a massa argilosa.

Nota-se que a incorporação de 30% de resíduo acarretou redução de aproximadamente 37% na absorção de água da massa argilosa.

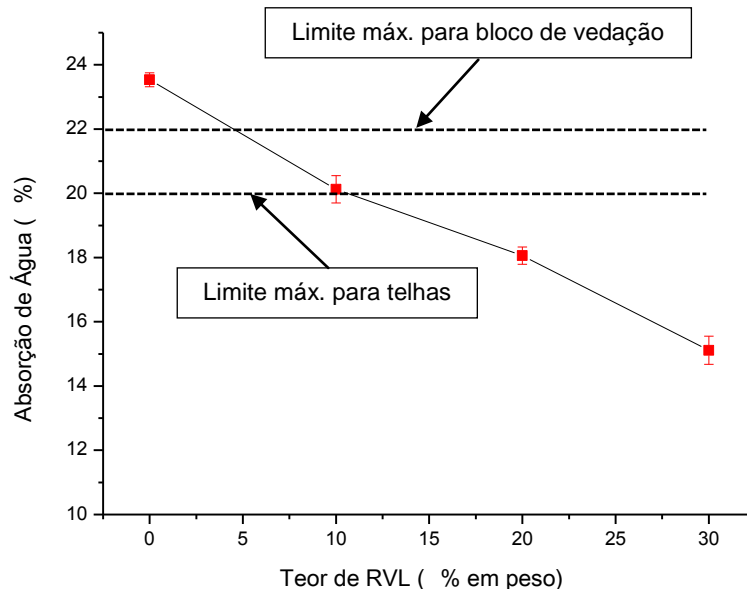


Figura 1 - Absorção de água em função do teor de RVL incorporado

A Figura 2 apresenta a retração linear de queima (RLQ) das cerâmicas queimadas. Durante o aquecimento, além da sinterização, ocorrem decomposição e transformações de fases. A sinterização tende a fechar os poros do corpo prensado, o que é acompanhado por retração linear. Porém, a extensão desta retração depende dos efeitos das demais reações sobre as dimensões da estrutura. A sinterização, seja por qual mecanismo ela ocorra, tende a diminuir a área superficial do corpo. Isto inclui a diminuição de volume dos poros. Como consequência, a estrutura contrai. Quanto mais avançada é a sinterização, maior será a retração linear e a redução da absorção de água, uma vez que a absorção de água é uma medição do volume dos poros interligados com a superfície da amostra, denominada porosidade aberta. As medidas de retração linear e de absorção de água estão, portanto, diretamente relacionadas.

Para todas as composições utilizadas com a adição de RVL, a absorção de água diminuiu, enquanto a retração linear aumentou. Conforme predito, o resíduo de vidro amolecido pode atuar como fase viscosa promotora de sinterização. Quanto

menor sua viscosidade, melhor esta fase poderá infiltrar na porosidade e promover a densificação da estrutura.

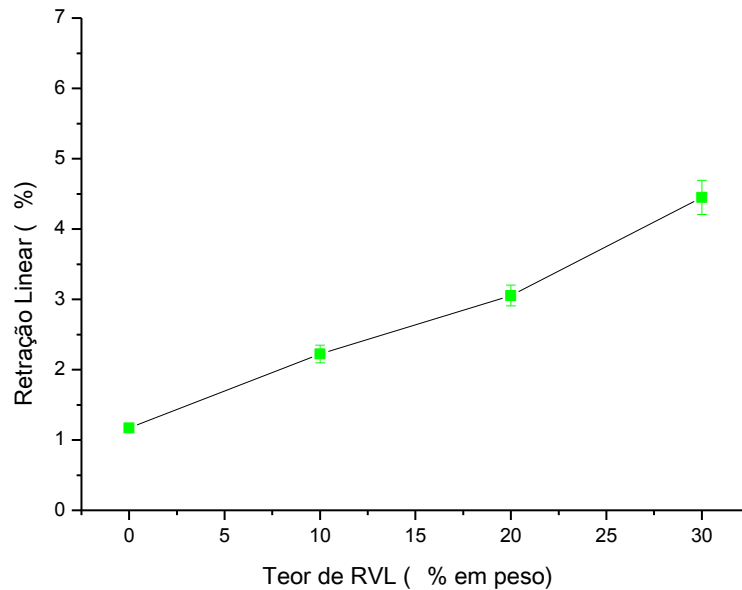


Figura 2 - Retração Linear em função do teor de RVL incorporado

Os valores de tensão de ruptura estão relacionados, principalmente, à quantidade de poros presentes na estrutura. Por meio da Figura 3 verifica-se que a tensão de ruptura à flexão aumenta à medida que a absorção de água diminui.

Com o aumento do teor de RVL incorporado ocorre um incremento da resistência mecânica em comparação com a argila pura, sobretudo, com 30% de RVL em que a tensão de ruptura atinge um máximo por volta de 16 MPa, correspondendo a um significativo incremento de aproximadamente 352%.

A incorporação do resíduo atuou na melhora significativa da resistência mecânica da argila, possivelmente devido ao efeito do resíduo que, quando inicia o fluxo viscoso, ou seja, passa a se comportar como líquido, seu efeito quando adicionado a uma cerâmica vermelha pode proporcionar melhorias na propriedade mecânica através do fechamento de poros.

Do ponto de vista do atendimento das especificações técnicas⁽¹⁷⁾, as peças cerâmicas incorporadas com RVL superaram a resistência mínima desejada para fabricação de peças como, tijolos de alvenaria (2MPa), tijolos furado (5,5MPa) e telhas (6,5MPa).

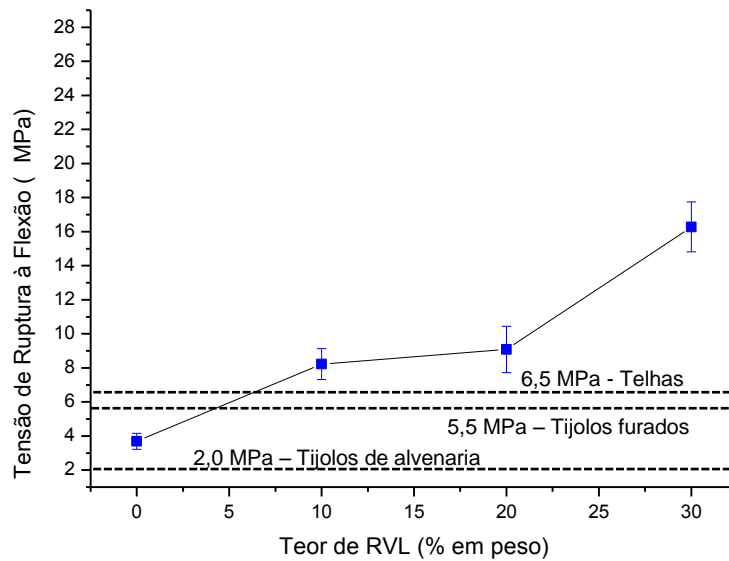


Figura 3 – Tensão de Ruptura a Flexão em função do teor de RVL incorporado

A Figura 4 apresenta o diagrama de Weibull para os lotes confeccionados a partir das massas RVL0, RVL10%, RVL20% e RVL30%. Neste gráfico foi utilizada uma linha de tendência linear a fim de se obter a equação do gráfico, essa equação tem como função calcular o valor exato do Módulo de Weibull (m) que é indicado pelo número que acompanha o parâmetro “ x ” e a tensão característica (θ) obtida a partir de $y = 0$.

O parâmetro de Weibull é considerado como sendo uma espécie de risco de ruptura, além de ser aditivo e um critério importante na confiabilidade de materiais cerâmicos. A rigor o parâmetro de Weibull caracteriza o espalhamento dos dados de resistência mecânica das peças de cerâmica vermelha. A tensão característica é um parâmetro de localização, na qual a probabilidade de falha é de 63,2%⁽¹⁸⁾.

Os lotes representativos das composições RVL10, RVL20 e RVL30 apresentaram um incremento da resistência mecânica com o aumento da temperatura de queima e uma tendência linear. Ocorre um deslocamento para a direita das retas com o incremento da temperatura e os parâmetros de Weibull apresentaram um comportamento unimodal. Este comportamento acontece praticamente para todas as composições.

Segundo Thurler⁽¹⁹⁾, valores para o parâmetro de Weibull para cerâmicas produzidas com as argilas de Campos dos Goytacazes/RJ são relativamente altos situando-se na faixa de 8,8 a 13,8. No entanto, para a composição com 20% de

resíduo, observa-se uma distribuição de Weibull com caráter multimodal, com dispersões bastante significativas, ou seja, baixo valor no módulo de Weibull (6,83).

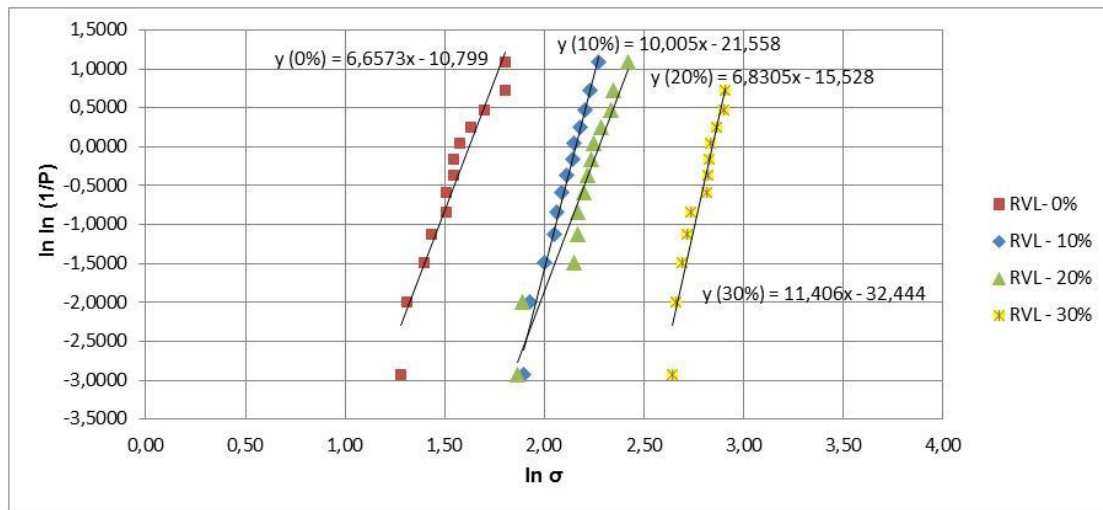


Figura 4 – Diagrama de Weibull da massa cerâmica com teores de RVL

Na Tabela 1 são apresentados os valores do módulo de Weibull (m) e da tensão característica (θ) para todos os lotes. A tensão característica das peças cerâmicas aumenta com o aumento do teor de resíduo incorporado. Isto está de acordo com a tensão de ruptura à flexão (Figura 3), o qual se deve fundamentalmente a maior densificação das peças cerâmicas em função da ação vitrificante do RVL.

Tabela 1 – Parâmetros de Weibull para TRF

Módulo de Weibull (m)			
RVL – 0%	RVL – 10%	RVL – 20%	RVL – 30%
6,66	10,00	6,83	11,41
Tensão Característica (θ)			
1,62	2,15	2,27	2,84

A Figura 5 apresenta a análise microestrutural por microscopia óptica das cerâmicas queimadas com 0, 10, 20 e 30% de RVL (a, b, c e d, respectivamente) em temperatura de 1000°C.

Através das imagens é possível observar que o resíduo de vidro na temperatura de queima de 1000°C começa a se apresentar em estado viscoso. Com

o aumento da quantidade de RVL incorporado à massa argilosa, nota-se maior concentração do resíduo na superfície da cerâmica e um maior espalhamento na sua estrutura, sobretudo na composição de 30%. O RVL mostrou-se capaz de amolecer nesta temperatura e penetrar na estrutura, sendo capaz de representar o papel da fase líquida promotora da sinterização.

Estes resultados são condizentes com os valores obtidos para absorção de água e tensão de ruptura à flexão, que demonstraram que nesta temperatura há formação suficiente de fase líquida para propiciar formação de fase vítrea e uma sinterização eficiente.

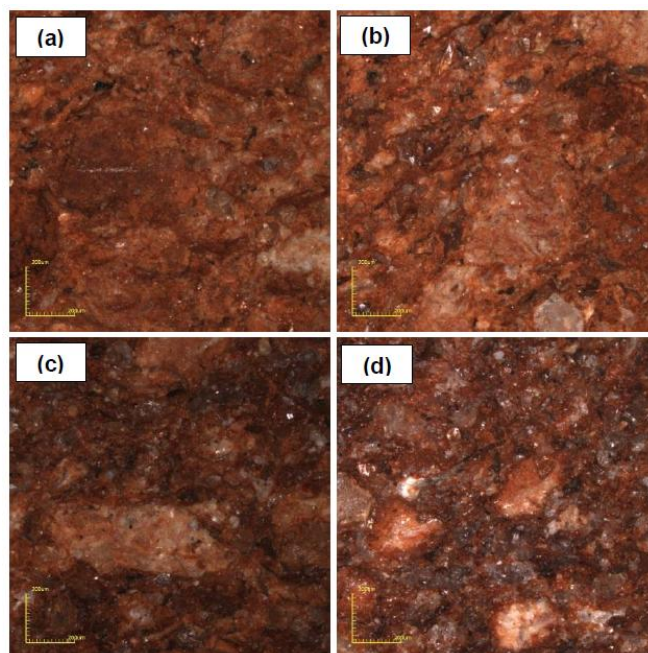


Figura 5 – Microscopia óptica das peças com 0,10, 20 e 30% de RVL

CONCLUSÕES

Foi possível observar que a incorporação do resíduo de vidro de lâmpada fluorescente alterou, de modo geral, as propriedades físicas e mecânicas da massa argilosa de cerâmica vermelha queimadas a 1000°C. Ocorreu uma redução da absorção de água das cerâmicas com resíduo, sendo que todas as composições com resíduo apresentaram valor de absorção de água menor que da massa cerâmica. Com relação à resistência mecânica, foi notado um aumento significativo na composição com 30% de RVL incorporado. Porém, acompanhada de elevada retração, cerca de 350%. Por fim, cabe ressaltar que temperaturas superiores a

1000°C geralmente são inviáveis economicamente para a maioria dos produtos do segmento de cerâmica vermelha, sendo recomendada somente para a fabricação de cerâmicas de elevado valor agregado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ (proc. n. E-26/103.023/2008), ao CNPq (proc. n. 306027/2008-9) e ao Instituto Federal Fluminense (IFF) pelo apoio a esta pesquisa. Nossos agradecimentos também ao Instituto para Desenvolvimento Ambiental e Tecnológico (IDEA Cíclica) pela concessão do resíduo.

REFERÊNCIAS

1. CAVALCANTI, M.S.L.; PORTO, V.S.; MENESES, R.L; ALBUQUERQUE, A.V.; GUEDES, B.F.R.; MORAIS, C.R.S; SANTANA, L.N.L. Characterization of plain glasses residues for Applying in ceramic bodies. Sixth International Latin-American Conference on Powder Technology, Búzios, Rio de Janeiro, Brazil, 2010.
2. RAPOSO, C.; WINDMOLLER, C.C.; JUNIOR, W.A.D. Mercury speciation in fluorescent lamps by thermal release analysis. *Waste Management*, v.23, 2003.
3. PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>, Acesso em: 25/10/2013.
4. MME - Ministério de Minas e Energia. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010 - Regulamentação Específica que Define os Níveis Mínimos de Eficiência Energética de Lâmpadas Incandescentes. Diário Oficial da União nº4, 6 janeiro, 2011, ISSN 1677-7042.
5. HIRAJIMA, T.; BISSOMBOLO, A.; SASAKI, K.; NAKAYAMA, K.; HIRAI, H.; TSUNEKAWA, M. Floatability of rare earth phosphors from waste fluorescent lamps, *International Journal of Mineral Processing*, v.77, 2005.
6. EVERHART, J.O. “Use of auxiliary fluxes to improve structural clay bodies”, *American Ceramic Society Bulletin*, v. 36, 268-271, 1957.

7. SHUTT, T.C., CAMPBELL, H., ABRAHAMS JUNIRO, J.H., “New buildings materials containing waste glass”, ***American Ceramic Society Bulletin***, pp. 670-671, 1972.
8. YOUSSEF, N.F., ABADIR, M.F., SHATER, M.A.O., “Utilization of soda glass (cullet) in the manufacture of wall and floor tiles”, ***Journal of the European Ceramic Society***, v. 18, pp. 1721-1727, 1998.
9. MATTEUCCI, F., DONDI, M., GUARINI, G., “Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles”, ***Ceramics International***, v. 28, n. 8, pp. 873-880, 2002.
10. TEIXEIRA, S.R., COSTA, F.B., SOUZA, A.E., SANTOS, G.T.A. “Reuse of glass cullet as aggregate for red ceramic clays”, ***Revista ciências exatas***, Unitau. vol 2, n. 2, 2007.
11. DONDI, M., GUARINI, G., RAIMONDO, M., ZANELLI, C. “Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles”, ***Waste Management***, v.29, pp.1945-1951, 2009.
12. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C 373-72, USA, 1972.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, C 674-77, USA, 1977.
14. JUNIOR, A.R.M., ZANOTTO, E.D. Sobre a determinação dos parâmetros de weibull. ***Cerâmica***, 38, 253 (1992), 7-11.
15. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-1:2005. Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
16. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310:2005/Em.1:2009. Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2009.
17. SANTOS, P.S. Ciência e Tecnologia das Argilas. 2ª edição revista e ampliada – Editora Edgard Blucher Ltda – São Paulo, v. 1, p.408, 1989.

18. DODSON, B. The Weibull Analysis Handbook. 2ª edição. ASQ Quality Press, 2006.
19. THURLER, L.M.; SOUZA, G.P.; HOLANDA, J.N.F. Avaliação do Módulo de Weibull para argilas de Campos/RJ. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 43, Florianópolis/SC, 1999. Anais: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 1999, p.11401-11408.

EVALUATION OF THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE CLAYEY CERAMIC INCORPORATED WITH GLASS WASTE

ABSTRACT

This work has for objective to evaluate the effect of the incorporation of glass powder waste of fluorescent lamp, from a decontamination process, the physical and mechanical properties of a clayey ceramics. Formulations were prepared with incorporation of the waste up to 30 wt.% into the clayey body. Specimens were prepared by uniaxial pressing at 20 MPa and fired in a muffle furnace at temperature of 1000°C. The fired pieces were evaluated in terms of: linear shrinkage, water absorption, flexural rupture strength and Weibull parameter. The microstructure of the ceramics was studied by optical microscopy. The results showed that the glass waste alters the physical and mechanical properties of kaolinitic clay body, causing a beneficial effect on the water absorption and mechanical strength.

Key-words: technological properties, clayey ceramic, waste, fluorescent lamp glass.