

Utilização de Vidro de Garrafas para Redução da Absorção de Água em Produtos de Cerâmica Vermelha

Alexandre Zaccaron^{a*}, Adriano Michael Bernardin^a, Fábio Rosso^b, Vitor de Souza Nandi^b, Paulo Fernandes^b, Rosaura Piccoli^c, Grasielle Amoriso Benedet^d

^a Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

^b Engenharia Cerâmica, Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, Cocal do Sul, SC, Brasil

^c Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais – LDCM, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI, Criciúma, SC, Brasil

^d Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

*e-mail: alexandrezaccaron@hotmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a incorporação de vidro de garrafas proveniente de coleta seletiva para avaliar seu efeito sobre a absorção de água obtida na fabricação de cerâmica vermelha. Foram realizados estudos em uma massa padrão e outras 5 formulações (3, 5, 7, 10 e 15%) em peso. Os corpos-de-prova foram modelados de forma manual, com umidade *in natura* em um molde com diâmetro de 27 mm e altura de 50 mm e queimados em temperaturas que variaram entre 850°C e 950°C. Além da absorção de água, as outras propriedades analisadas foram: retração linear, perda ao fogo e resistência mecânica. Os resultados indicam que com o aumento do percentual do resíduo e temperatura de queima conseguiu-se a redução da absorção de água e retração total, além de um ligeiro aumento da resistência mecânica.

Palavras-chave: vidro, absorção de água, cerâmica vermelha.

1. Introdução

O crescente volume de resíduos gerados pelas atividades industriais, urbanas e agrícolas causa preocupações relacionadas à disposição de tais resíduos, onde mesmo apesar de fazerem parte dos ciclos da natureza e da economia, o progresso econômico fez com que o desenvolvimento se acelerasse e, como consequência, aumentou a quantidade de resíduos, que são difíceis de serem reciclados naturalmente [1-3]. O aumento contínuo da quantidade de resíduos requer não apenas medidas que reduzem a sua geração, mas também de reciclagem e valorização [4, 5].

O vidro é um material inerte não-cristalino, não-poroso e frágil, obtido através do resfriamento de uma massa a base de sílica em fusão. Apesar das pequenas diferenças de produção, o que é comum a todos os tipos de vidro é a sílica, que é a matéria-prima base para o processo fabril [6, 7]. O vidro utilizado para embalagens em sua maior parte possui um destino sustentável por ser um material totalmente reciclável, onde o reaproveitamento pode ocorrer de diversas formas, sendo simplesmente reutilizando na forma como foi produzida, ou podem ser incorporadas em certos produtos como se fossem matérias-primas [3, 8]. Apesar dos resíduos de vidro serem totalmente recicláveis e reaproveitáveis, existe uma quantidade significativa de garrafas sem reenvasamento que são recolhidas pela rede de coletas seletiva, e são destinadas a aterros, gerando assim passivos ambientais, nesses casos torna-se necessário encontrar alternativas

tecnológicas viáveis que permitam a reciclagem destes vidros de forma econômica e sustentável [8].

Sabe-se que a indústria de cerâmica vermelha possui potencial para utilização e valorização de diferentes resíduos que, geridos da maneira correta, proporcionam ganhos consideráveis na sua fabricação [9]. A incorporação de resíduo de vidro a produtos fabricados à base de argila é uma alternativa considerada natural devido à compatibilidade entre a composição química destes produtos e a do vidro que é essencialmente formada por sílica (SiO₂), com um pequeno percentual de sódio (Na₂O) e cálcio (CaO) [6, 8]. O uso de tijolos como matéria-prima na construção civil vem sendo constante a muito tempo, e portanto, a incorporação de resíduos no processo fabril se torna uma opção viável como encapsulamento desses, unido as questões ambientais que tratam da quantidade de matérias-primas disponíveis na natureza [9-12].

Em paralelo às questões que compreendem a geração e reaproveitamento dos resíduos, e o processo produtivo de cerâmica vermelha, tem-se a legislação que rege a padronização de blocos cerâmicos para alvenaria, que devem ser atendidas para a adequação do produto no mercado. Um dos itens da referida norma é problemática a indústrias de determinadas regiões do país, a absorção de água. A ABNT dita que para blocos de vedação para alvenaria os limites mínimos e máximos estejam entre 8 e 22% [1, 13-16]. Todavia, existem indústrias que não atingem o limite estabelecido. Diante dessa explanação, é

importante frisar que problemas de resistência mecânica, podem estar relacionados a altos percentuais de absorção de umidade, onde essa propriedade está na grande maioria dos casos ligada à presença de poros, que por sua vez, propicia a diminuição da resistência mecânica nas peças cerâmicas [17,18]

Desta forma, o objetivo deste estudo foi a incorporação de vidro moído de garrafas provenientes da coleta seletiva do município de Morro da Fumaça, SC, na massa padrão de uma empresa de cerâmica vermelha que não atende à norma da ABNT no item de absorção de água.

2. Materiais e Métodos

Para a realização desse estudo, foi utilizada massa padrão de uma indústria cerâmica catarinense cujos produtos apresentam absorção de água acima do estabelecido por norma. A massa padrão, composta por uma mistura de argilas, foi encaminhada pela empresa ao Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha, Labcer, sediado em Morro da Fumaça, SC. O vidro usado como matéria-prima foi cedido pela Fundação Municipal de Meio Ambiente do município de Morro da Fumaça, SC, que dispõe de uma central de coleta de resíduos recicláveis. As garrafas foram limpas para remoção dos rótulos, quebradas em cacos e em seguida processadas em moinho de martelos (Servitech modelo CT-058) para fragmentação. Após o processo de moagem, o resíduo passou por peneira (malha 28 Ty, 0,6 mm) para por fim ser usado em laboratório.

Os corpos-de-prova da massa padrão argilosa foram modelados de forma manual, com umidade *in natura* (simulando as condições fabris), em um molde de PVC de formato cilíndrico, com diâmetro de 27 mm e altura de 50 mm. Os percentuais (em massa) de adição do resíduo moído de vidro à massa padrão foram definidos como 0, 3, 5, 7, 10 e 15%, ilustrados na Tabela 1. Após a conformação das peças, as amostras foram secas naturalmente por 24 h para remoção parcial da umidade e em seguida foram postas para secagem complementar em estufa (DeLeo 2211 tipo 8) a 105 ± 10 °C por mais 24 h. Posteriormente, as peças passaram pela etapa de queima, que foi realizada em forno elétrico de laboratório (Jung, modelo J200), com taxa de aquecimento de 2 °C/min, tempo de patamar de 120 min e queima em três temperaturas máximas: 850, 900 e 950 °C, para simular as condições de queima mais utilizadas na cerâmica vermelha.

Tabela 1. Formulações utilizadas no trabalho.

Formulações (%)	STD	F1	F2	F3	F4	F5
Argila	100	97	95	93	90	85
Vidro	-	3	5	7	10	15
Total	100	100	100	100	100	100

Tabela 2. Análise química do vidro^[6].

Óxidos (%)	SiO2	Na2O	CaO	MgO	Al2O3	K2O
	72,0	14,0	9,0	4,0	0,7	0,3

O foco do estudo foi avaliar o efeito da adição de vidro de embalagem a uma massa cerâmica determinando-se a absorção de água após a queima. Todavia, outras propriedades tecnológicas devem ser analisadas, como retração térmica linear, perda ao fogo e resistência mecânica, pois a adição do vidro pode influenciar no desempenho final do produto, em relação às especificações da norma NBR 15270 [13-15].

3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 mostra a composição química do vidro para embalagens, usados como matéria-prima alternativa no estudo.

É possível observar a predominância de sílica (SiO₂) na composição do vidro, sendo a matéria-prima básica com função vitrificante. O sódio (Na₂O) vem como segundo óxido de maior composição do vidro, tendo função de aumento da resistência mecânica, assim como a alumina (Al₂O₃). O cálcio (CaO), magnésio (MgO) e potássio (K₂O) são os demais compósitos que compõe o vidro, tendo funções de estabilidade a ataques de agentes atmosféricos e aumento da resistência a mudanças bruscas de temperatura. Quanto a relevância do estudo, a presença de sílica (SiO₂) e sódio (Na₂O) em principais teores, podem melhorar a qualidade da peça, principalmente na resistência mecânica, já que são óxidos fundentes relacionados à vitrificação do material [8, 19].

As Figuras 1 e 2 mostram os resultados para a retração térmica linear sofrida pelas amostras, desde a etapa de secagem até a queima. O aumento do percentual de resíduo de vidro incorporado à massa cerâmica diminui a

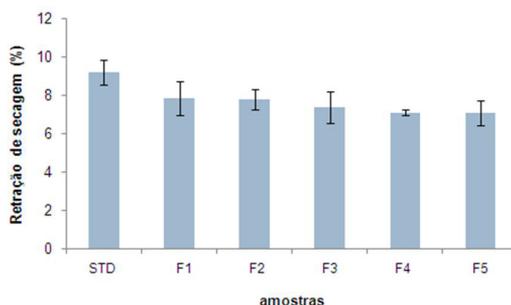


Figura 1. Retração térmica linear de secagem (%) para a amostra padrão e para as formulações.

retração de secagem, pois a temperatura na qual as peças passaram (110 °C) o vidro se apresenta inerte e não sofre as reações físicas que ocorrem com o material argiloso. A retração da massa padrão (STD) é de aproximadamente 9,2%, valor esse que baixa para 7,1% com a adição de 15% (F5) de vidro.

A Figura 2 ilustra a retração térmica linear total, que contempla a variação dimensional que a peça cerâmica sofre em toda a etapa de tratamento térmico (secagem e queima). O maior percentual de retração fica por conta da secagem - como apresentado na Figura 1. Após a queima, pouca foi a diferença na retração das amostras com a incorporação do vidro, menos de 1%, visualiza-se maior contração ao se aumentar a temperatura de queima, mas, o resultado se encontra abaixo do ditado pela literatura, no qual não deve exceder valores de 6% porque podem provocar problemas de deformações nos materiais cerâmicos, facilitando assim o aparecimento de trincas no produto [20, 21]. A retração que ocorre após secagem e queima, não possui parâmetro específico e pode ser explicada pelo resultado da eliminação de água durante a queima. Ao ser eliminada a água e ao surgirem os espaços por ela deixados, ocorre uma aproximação das partículas em consequência das forças de atração eletrostática, provocando enrugamento do material [11]. É importante reparar, que a retração total não foi superior a 12%, sendo este o valor máximo de retração a que o produto cerâmico pode ser submetido antes de apresentar grande variação dimensional [22].

A Figura 3 apresenta o gráfico com os resultados obtidos para o ensaio de perda ao fogo. A adição de resíduo de vidro à massa cerâmica causa diminuição da perda ao fogo pela eliminação de materiais voláteis durante o processo de queima. A amostra padrão apresenta uma perda de 9,5% a 900 °C, enquanto a amostra F5, que contém 15% de vidro, tem perda de aproximadamente 8,0% na mesma temperatura, uma variação de 16% nesse ensaio.

O ensaio de resistência mecânica das amostras é ilustrado no gráfico da Figura 4. Como se pode observar, não houve alteração significativa da resistência mecânica das amostras com a adição do resíduo, porém, o aumento da temperatura de queima acarreta uma melhor resistência mecânica média das amostras, pois o vidro incorporado à massa cerâmica amolece após determinada temperatura, tornando a estrutura mais compacta e assim mais resistente. Importante ressaltar que a variação entre os resultados decorre da preparação manual das amostras, não tendo sido usada uma pressão constante na confecção dos corpos de prova.

O objetivo principal do estudo foi avaliar o efeito do uso de resíduo de vidro em massa argilosa para cerâmica vermelha para cumprir o estabelecido na norma NBR 15270, ou seja, absorção de água do produto final entre 8 e 22% [13-15]. As demais propriedades tecnológicas ensaiadas, ou seja, retração de secagem e queima, perda ao fogo e resistência mecânica à compressão não foram afetadas pela adição do resíduo vidro até um teor de 15%, atendendo à norma específica. O comportamento das

amostras com a adição de vidro em relação à absorção de água é mostrado na Figura 5 para a adição de até 15% de resíduo e para queimas entre 850 e 950 °C.

O gráfico para os resultados de absorção de água mostra que a adição de resíduo de vidro até 15% causa uma diminuição da absorção de água. A 900 °C a absorção de água, da massa padrão é de 26%; a esta mesma temperatura a adição de 3% de vidro reduz a absorção de água para ~25% e a ~21% com a adição de 15% de resíduo. Este efeito é consequência do amolecimento do vidro incorporado à massa cerâmica argilosa, que diminui

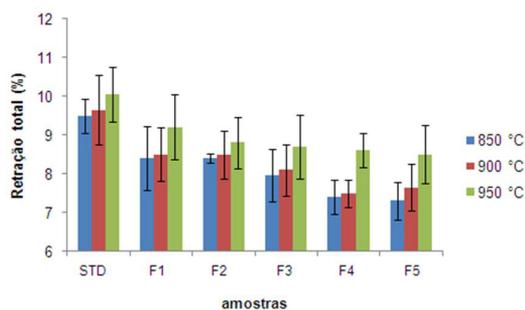


Figura 2. Retração térmica linear total (%) para a amostra padrão e para as formulações pós queima a 850, 900 e 950 °C.

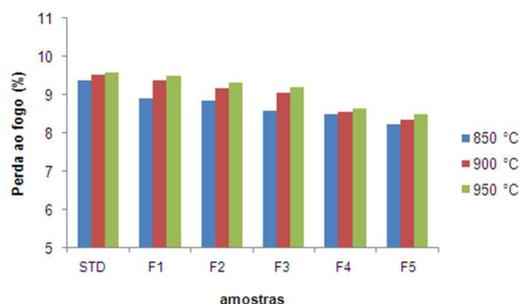


Figura 3. Perda ao fogo (%) para a amostra padrão e para as formulações após a queima a 850, 900 e 950 °C.

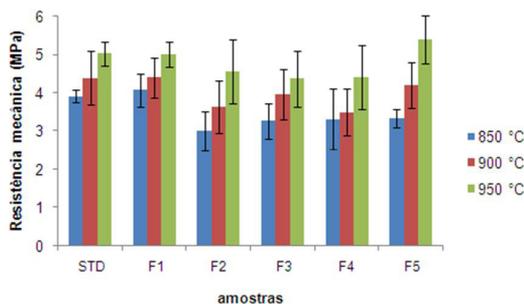


Figura 4. Resistência mecânica à compressão (MPa) para a amostra padrão e para as formulações após a queima a 850, 900 e 950 °C.

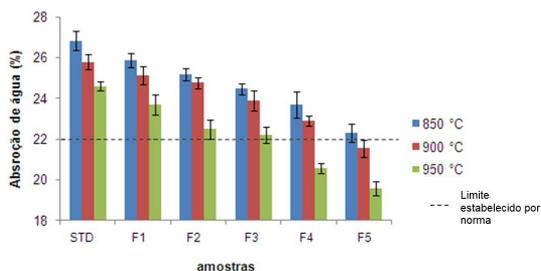


Figura 5. Absorção de água para a amostra padrão e para as formulações após a queima a 850, 900 e 950 °C.

a porosidade das amostras e com isso a absorção de água das mesmas.

As temperaturas mais elevadas também reduziram a absorção de água, pois quanto maior a temperatura de queima maior será o amolecimento do vidro incorporado, fazendo com que diminua a porosidade das amostras, o que leva a ter menor absorção de umidade, fato que também foi observado na literatura [1,12,17,23,24]

Analisando os resultados, pode-se verificar que a adição de até 7% (F3) de vidro não altera a absorção de água para qualquer temperatura avaliada. Com 10% de adição de vidro, a absorção de água é de $20,6 \pm 0,24$ a 950 °C, e com 15% de adição a AA é de $22,3 \pm 0,44$ a 850 °C, marginalmente atendendo à norma.

4. Conclusão

A adição de vidro de embalagem às massas argilosas utilizadas em cerâmica vermelha efetivamente reduz a absorção de água dos produtos queimados, atendendo à legislação vigente. Foi possível observar que com 15% de resíduo adicionado teve-se resultados positivos em 900 e 950 °C, temperaturas usualmente utilizadas no processo fabril.

Além disto, a incorporação de resíduo de vidro à massa para cerâmica vermelha torna-se um mecanismo adequado de gestão de resíduos sólidos gerados pelo setor industrial, sendo uma alternativa a sua deposição, contribuindo para a sustentabilidade.

Com relação às demais propriedades tecnológicas estudadas, ou seja, retração linear (de secagem e queima), perda ao fogo e resistência mecânica à compressão, a incorporação do resíduo de vidro causou pequenas variações nestas propriedades, sendo praticamente inerte ao processo, comprovando assim a sua compatibilidade com o material argiloso que compõe a massa cerâmica.

Num contexto geral, a diminuição da absorção de umidade, causou um melhoramento na resistência mecânica, sendo uma avaliação positiva ao desenvolvimento cerâmico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES e a todas as empresas que colaboraram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- MONTEIRO, S.N., ALEXANDRE, J., MARGEM, J.I., SANCHEZ, R., VIEIRA C.M.F. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials**, 22, p.1281-1287, 2008.
- RAUPP-PEREIRA, F., HOTZA, D., SEGADÃES, A.M., LABRINCHA, J.A., Ceramic formulations made of different wastes and natural sub-products. **Ceramics International**, 32, p. 173-179, 2006.
- GODINHO, K.O., RABELO, T.R., HOLANDA, J.N.F., SILVA, A.G.P. Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha. In: 48° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2004, Curitiba, PR., **Anais do 48° Congresso Brasileiro de Cerâmica**. p. 1-10, 2004.
- ANDREOLA, F., BARBIERI, L., LANCELLOTTI, I., LEONELLI, C., MANFREDINI, T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies, **Ceramics International**, 42, p. 13333-13338, 2016.
- GROENNER, P.E.M., **Reaproveitamento do resíduo de fabricação de consumíveis para soldagem em tijolos de cerâmica vermelha**. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte-MG, 76 p., 2007.
- Associação Brasileira das Industrias Automáticas de Vidro - ABVIDRO. Benefícios da reciclagem do vidro, disponível em: <http://www.abividro.org.br/> Acesso em agosto/2015.
- GALVÃO, C.P., FARIAS, A.C.M., MENDES, J.U.L. Characterization of waste of soda-lime glass generated from lapping process to reuse as filler in composite materials as thermal insulation, **Cerâmica** 61, p. 367-373, 2015.
- ZACCARON, A., BENEDET, G.A., ROSSO, F., NANDI, V.S., FERNANDES, P., BERNARDIN, A.M., PICCOLI, R. Incorporação de vidro na composição da massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduo, In: 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2016, Porto Alegre, RS. **Anais do 7FIRS - Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, v. unico. p. 1-7, 2016.
- GODINHO K. O., HOLANDA, J. N. F., DA SILVA, A. G. P. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. **Cerâmica**, 51, 419-427, 2005.
- ZHANG, L. Production of bricks from waste materials – a review. **Constr Build Mater**, 47, p. 643–55, 2013.
- WEIZENMANN, M., BRUXEL, F.R., DE SANTANA, E.R.R., OLIVEIRA, E.C. Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha - um estudo de caso, **Cerâmica**, 59, p. 442-447, 2013.
- de MEDEIROS, E.N.M., SPOSTO, R.M., NEVES, G.A., MENEZES, R.R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento, **Cerâmica**, 56, p. 399-404, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 15270-1: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos**, Rio de Janeiro, RJ, 11 p. 2005.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 15270-2: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**, Rio de Janeiro, RJ, 11 p. 2005.

15. Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 15270-3: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, RJ, 27 p. 2005.
16. ZACCARON, A., GALATTO, S.L., NANDI, V.S., FERNANDES, P. Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduo. **Cerâmica Industrial**. 19 (3), p. 33-39, 2014.
17. MACEDO, R.S., MENEZES, R.R., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, 54, p. 411-417, 2008.
18. MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical Update. **Construction and Building Materials**, 68, p. 599–610, 2014.
19. MORAIS, A.S.C., CALDAS, T.C.C., MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F. Characterization of Fluorescent Lamp Glass Waste Powders, **Materials Science Forum**, 727-728, p. 1579-1584, 2012.
20. AMORIM, F. R. **Co-processamento de dregs em argila para produção de cerâmica vermelha**. 2007. (Dissertação) Mestrado em Saneamento - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 108 p., 2007.
21. VIEIRA, G., SILVA, D.F. Estudo da adição de lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, n. esp. Metalmecânica, p. 69-91, 2012.
22. LOYOLA, L.C. As Argilas e a Cerâmica Vermelha - I Seminário sobre competitividade na indústria cerâmica e olarias do este do Paraná, Curitiba - PR, 45 p. 2004.
23. MYMRIN, V., KLITZKE, W., ALEKSEEV, K., CATAI, R.E., NAGALLI, A., IZZO, R.L.S., ROMANO, C.A. Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials, **Applied Clay Science**, 107, p. 28-35, 2015.
24. CHRISTOGEROU, A., KAVASB, T., PONTIKES, Y., KOYAS, S., TABAK, Y., ANGELOPOULOS, G.N. Use of boron wastes in the production of heavy clay ceramics, **Ceramics International**, 35, p. 447-452, 2009.