

## ADIÇÃO DE VIDRO EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA UTILIZADA EM UMA MASSA CERÂMICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.III-047>

Geovana Carla Girondi Delaqua (\*), Carlos Maurício Fontes Vieira

\* Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV/UENF.

### RESUMO

O trabalho tem por objetivo avaliar a influência da substituição da areia por resíduo de vidro nas propriedades físicas e mecânicas de uma composição típica de cerâmica vermelha. O resíduo é proveniente da primeira etapa de fabricação de vidros em um processo convencional de têmpera. Corpos de prova cerâmicos foram preparados com incorporações de 0,5, 10 e 20% de resíduo. As amostras foram obtidas por extrusão, secas e queimadas em 800 a 1000°C em forno de laboratório. Foram realizadas análises das matérias-primas, dentre as quais se podem destacar as físicas e químicas, e posteriormente foram realizados testes nas peças cerâmicas queimadas. As propriedades obtidas de queima foram: densidade, absorção de água, retração linear de queima. Os resultados obtidos demonstraram que tanto o aumento do teor de vidro quanto o aumento da temperatura influenciaram positivamente nas propriedades estudadas, e, além disso, o vidro atuou de modo a reduzir a temperatura adequada de queima.

**PALAVRAS-CHAVE:** vidro; resíduo, argila; cerâmica

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a geração de resíduos sólidos industriais aumentou de forma exponencial ao redor do mundo. Esse aumento tem como justificativas principais o aumento populacional e o consequente aumento da produção de resíduos [1]; os processos de urbanização, gerando o aumento do número de habitantes nas grandes cidades e a geração de resíduos [2]; o aumento da periculosidade dos resíduos gerados; o processo de industrialização [3]; e o aumento de locais inapropriados para a disposição final do resíduo, através de lixões [1,2], o que agrava ainda mais esse problema ambiental.

Diante disso, a necessidade de encontrar meios de se reaproveitar os resíduos é cada vez mais urgente. Uma alternativa, que será estudada nesse trabalho, é o reaproveitamento desses resíduos na indústria de cerâmica vermelha, devido a diversidade de funções que os resíduos podem exercer nesses tipos de materiais [4]. Sabe-se que as argilas utilizadas para produção dos artefatos de cerâmica apresentam natureza essencialmente plástica, o que possibilita, por exemplo, a utilização de resíduos que introduzem elementos não plásticos na massa argilosa para controlar essa propriedade [5,6]. Cita-se como exemplo o trabalho de Azevedo et al. (2020) [7], onde os autores avaliaram a utilização de ornamental rock waste em materiais cerâmicos, comprovando a viabilidade tecnológica e as vantagens econômicas obtidas com a utilização desse resíduo. Resultados similares foram obtidos por Amaral et al. (2019) [8].

Outra possibilidade é a utilização de resíduos que auxiliam na redução do gasto energético do material na etapa de calcinação. Essa atuação pode ser direta, através do fornecimento de energia por reações exotérmicas, ou indireta, através da redução da temperatura de fusão do material cerâmico. Cita-se como exemplos de trabalhos desse padrão o trabalho de Delaqua et al. (2020) [9], onde os autores avaliaram a utilização de resíduo de cigarro em cerâmica vermelha e obtiveram resultados satisfatórios nas propriedades avaliadas, além de comprovarem o ganho energético do material cerâmico durante a queima. Outro trabalho relevante com características similares foi desenvolvido por Delaqua et al. (2020) [10], onde os autores avaliaram a utilização de biomassa de macrófitas em material cerâmicos, com conclusões positivas.

Um resíduo de suma importância do ponto de vista industrial é o resíduo de vidro. Apenas no Brasil, todos os produtos feitos com vidros correspondem em média a 3% dos resíduos urbanos, e cerca de 47% das embalagens de vidro são recicladas anualmente no país, somando 470 mil toneladas ao ano [11]. Além disso, em geral, o resíduo é 100% reciclável, ou seja, pode ser reciclado de forma infinita [12,13]. No entanto, quando esse é descartado erroneamente no meio ambiente, ele pode ser muito prejudicial por alguns motivos, dentre os quais se pode destacar o fato de não ser biodegradável, e na maioria dos casos, possuir alto poder cortante [13].

As principais inovações desse trabalho são as de propor a utilização do resíduo de vidro substituindo a areia utilizada para correção, enquanto em outras pesquisas esse resíduo é utilizado como um substituto da massa argilosa. Embora existam outros trabalhos com resíduos de vidro, devido a importância desse material, a análise de novas metodologias de incorporação é necessária, para possibilitar a aplicação real do resíduo em materiais cerâmicos.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi a substituição parcial e total da areia em uma massa cerâmica por resíduo de vidro na forma de pó.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados na pesquisa foram massa argilosa comercial, composta de duas argilas típicas da região, utilizado pelas indústrias de Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. A massa é predominantemente caulinitica e já foi utilizada em outras pesquisas publicadas [5,8,9]. Além disso foram utilizados nas formulações areia quartzosa natural e o resíduo de vidro plano sodo cálcico. O resíduo foi obtido de uma empresa localizada em Rio das Ostras, RJ, Brasil.

As matérias-primas utilizadas na pesquisa foram caracterizadas através de fluorescência de raios-x (FRX), utilizando um equipamento S2 POLAR, da fornecedora BRUKER.

As formulações foram produzidas utilizando 60% da argila 1, 20% da argila 2 e 20% de areia natural. Além disso, foi proposto a substituição de 0 – 20% de resíduo de vidro, como um substituto da areia natural. Na Tabela 1 são apresentadas as formulações estudadas.

**Tabela 1 – Formulações utilizadas (%)**

Formulação	Argila 1	Argila 2	Areia	Vidro
0%	60	20	20	0
5	60	20	15	5
10%	60	20	10	10
20%	60	20	0	20

Foram produzidos os corpos de prova por extrusão, utilizando geometria prismática de aproximadamente 10 x 25 x 115 cm. A queima foi realizada em forno laboratorial tipo Mufla da Maitec modelo FL 1300, a 800, 900 e 1000°C. Na queima, empregou-se uma taxa de aquecimento de 3°C/min até atingir a temperatura de queima, com patamar de 240 min. O resfriamento foi por convecção natural. Após a queima foram realizados ensaios de densidade após queima, retração linear e absorção de água.

## RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados de FRX das matérias-primas. Observa-se que a composição química das argilas é predominantemente a base de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o que é típico de minerais argilosos. A presença de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é importante, pois é o que fornece a coloração avermelhada pós queima típica de artefatos cerâmicos [19]. A presença de TiO<sub>2</sub> auxilia na dureza superficial do material, podendo melhorar as propriedades mecânicas, mas tornando o material mais frágil. Também pode atuar como um óxido corante, clareando a peça cerâmica pós queima. A presença de K<sub>2</sub>O, MgO, Na<sub>2</sub>O e CaO é importante pois esses elementos alcalinos e alcalinos terrosos atuam na formação de fase líquida, que é o principal mecanismo de sinterização dos materiais cerâmicos [6,13].

**Tabela 2 – Composição química das matérias-primas.**

Composições	argila 1 (%)	argila 2 (%)	Areia (%)	Vidro (%)
SiO <sub>2</sub>	47,04	49,34	81,10	72,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,56	30,71	11,90	1,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,48	3,66	1,20	0,55
TiO <sub>2</sub>	1,29	1,21	0,47	0,01
K <sub>2</sub> O	1,01	0,99	1,50	0,36
MgO	0,55	0,61	0,62	2,53
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,24	0,84	6,86
CaO	0,24	0,22	0,51	15,54
Outros	0,10	0,11	0,16	0,02
Perda ao fogo	13,39	12,91	1,70	0,00

A Figura 1 (A, B e C) apresenta os resultados de densidade após queima, de retração linear pós queima, e de absorção de água. Observa-se que à medida que a temperatura de calcinação aumenta, a densidade aparente do material cerâmico aumenta e a retração linear também. Esse comportamento é o padrão desse tipo de material e já foi reportado por outros autores [7,30]. Entretanto, o que é importante observar é que o resíduo de vidro promoveu um aumento na densificação do material cerâmico, o que está diretamente relacionado a formação de fase líquida e maior sinterização de fases resistentes no material. Uma característica negativa é que a utilização do resíduo promoveu aumento da retração de queima, o que já era esperado com base nos outros resultados.

As composições 10% e 20% apresentam retrações acima de 4% na temperatura de queima de 1000°C. Isso pode ser um problema durante a fabricação das peças cerâmicas devido a defeitos nos produtos desenvolvidos. Os outros valores de retração, entretanto, estão dentro dos padrões estabelecidos por outros autores, como Delaqua et al. (2020) [9] e Delaqua et al. (2020) [10,13].

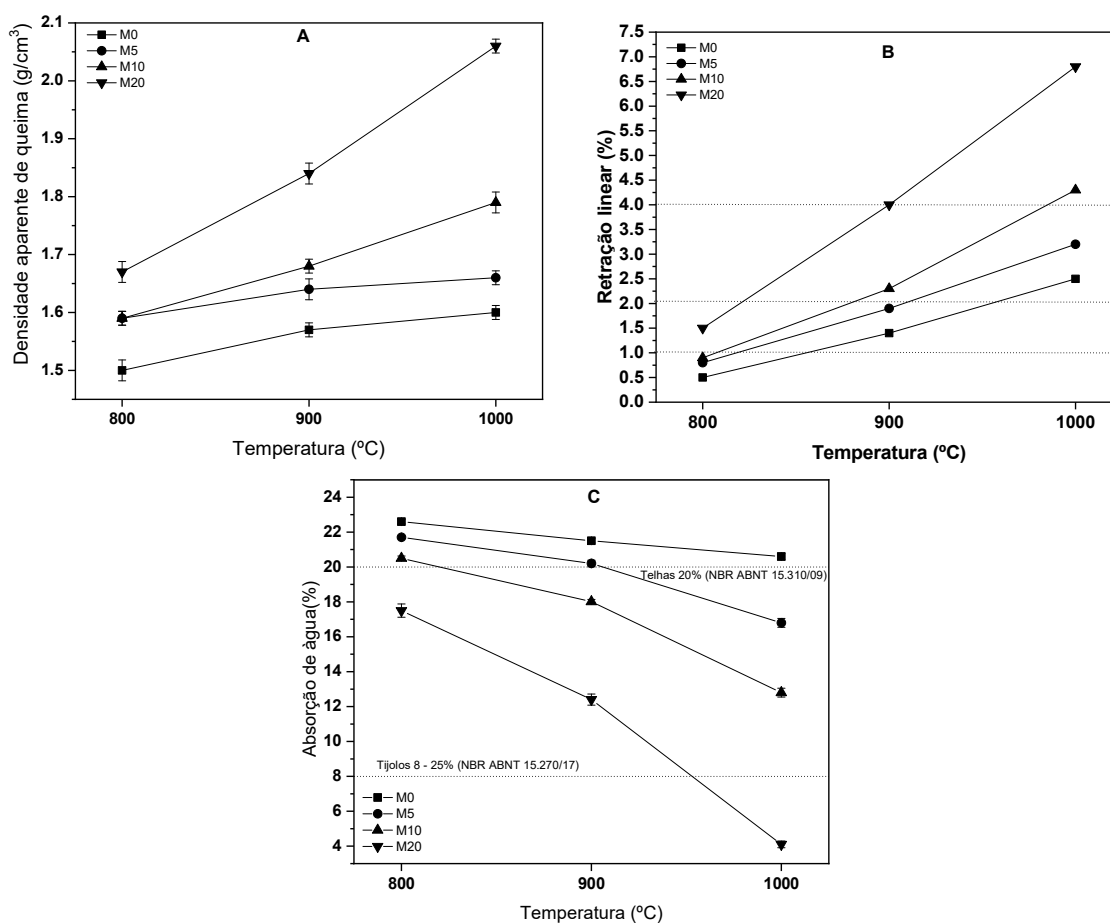


Figura 1 – Resultados de (A) densidade após queima; (B) retração linear pós queima; (C) absorção de água.

Nesta mesma figura (1C) são apresentados os resultados de absorção de água. É possível notar que a massa contendo apenas areia natural (0%) não atende os limites para telhas, já que em todas as temperaturas apresenta absorção de água superior a 20%. As massas contendo resíduo de vidro, sobretudo a com 20% do material atendem aos requisitos de absorção de água tanto para telhas quanto para blocos, já na calcinação em 800°C [7,13,14]. Isso é uma grande vantagem pois proporciona economia na fabricação do material cerâmico.

A redução da absorção de água proporcionado pelo resíduo de vidro está relacionado a redução de porosidade e formação de fase líquida. Conforme reportado na literatura [14] a partir de 600°C o vidro já entra em seu ponto de amolecimento, e, portanto, já consegue ter um mecanismo satisfatório de formação de fase líquida. Em 1000°C, o vidro atinge seu ponto de fusão, contribuindo ainda mais com os mecanismos de sinterização dos materiais cerâmicos [13,14]. Esses resultados não só comprovam a viabilidade da utilização do resíduo de vidro, como destacam como é vantajoso utilizar esse material.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir:

- A caracterização do resíduo de vidro mostra a compatibilidade do material com areia natural, viabilizando a sua utilização, além de indicar um potencial para melhoria de propriedades.
- Após queima, a utilização de resíduo de vidro em 20% promoveu a sinterização da massa cerâmica, em função da formação de fase líquida, reduzindo a porosidade e melhorando as propriedades de absorção de água e resistência à flexão. Houve problemas na retração de queima, mas em limites tolerados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ nº E-26/200.847/2021, E-26/200.104/2024 e E-26/200.105/2024, CNPq nº 302976/2022-1 e à UENF pelo apoio financeiro recebido, e à cerâmica sardinha pela doação da matéria-prima argilosa, e a Newtemper pela doação do resíduo de vidro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Parthan, S,R,, Milke, M,W,, Wilson, D,C, **Cost estimation for solid waste management in industrialising regions Precedents, problems and prospects**, Waste Manag. 32 (2012) 584–594.
2. Mrayyan, B,, Hamdi, M,R, **Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City**, Waste Manag. 26 (2006) 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.06.008>.
3. Hu, D,, Wang, R,, Yan, J,, Xu, C,, Wang, Y, **A pilot ecological engineering project for municipal solid waste reduction, disinfection, regeneration and industrialization in Guanghan City, China**, Ecol. Eng. 11 (1998) 129–138. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(98\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(98)00067-6).
4. Dondi, M,, Raimondo, M,, Zanelli, C, **Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification**, Appl. Clay Sci. 96 (2014) 91–109. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013>.
5. de Souza, C,C,, Delaqua, G,C,G,, Vieira, C,M,F, **Evaluation of solid waste from H2S removal process in natural gas treatment incorporated into red ceramic**, Mater. Res. 22 (2019) 1–8. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0129>.
6. Vigneron, T,Q,G,, Vieira, C,M,F,, Delaqua, G,C,G, **Incorporation of mold flux waste in red ceramic**, J. Mater. Res. Technol. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.038>.
7. Azevedo, M,C,, Marvila, M,T,, Delaqua, G,C,G,, Vieira, C,M,F, **Economy analysis of the implementation of extruded tiles fabrication in a ceramic industry containing ornamental rock waste**, Int. J. Appl. Ceram. Technol. 18 (2021) 1876–1890. <https://doi.org/10.1111/ijac.13728>.
8. Amaral, L,F,, De Carvalho, J,P,R,, Delaqua, G,C,G,, Vieira, C,M,F, **Development of ceramic paver with ornamental rock waste**, J. Mater. Res. Technol. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.05.009>.
9. Delaqua, G,C,G,, Marvila, M,T,, de Brito, J,, Vieira, C,M,F, **Recycling potential of powdered cigarette waste in the development of ceramic materials**, J. Mater. Cycles Waste Manag. (2020). <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01058-7>.
10. Delaqua, G,C,G,, Marvila, M,T,, de Brito, J,, Vieira, C,M,F, **Evaluation of the application of macrophyte biomass *Salvinia auriculata* Aublet in red ceramics**, J. Environ. Manage. 275 (2020) 111253. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111253>.
11. Vieira, C,M,F,, Morais, A,S,C,, Monteiro, S,N,, Delaqua, G,C,G, **Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente**, Cerâmica. 62 (2016) 376–385.
12. Zhang, J,, Liu, B,, Zhang, S, **A review of glass ceramic foams prepared from solid wastes: Processing, heavy-metal solidification and volatilization, applications**, Sci. Total Environ. 781 (2021) 146727.
13. Delaqua, G,C,G,, vernilli, F,, Teixeira, S,R,, Colorado, H,A,L,, Monteiro, S,N,, Vieira, C,M,F, **Influence of glass particle size on the physico-mechanical properties of red ceramic**, Journal of Materials Research and Technology, Volume 26,2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.040>