

## INCORPORAÇÃO DE VIDRO DE GARRAFAS EM MASSA CERÂMICA

Tercio Graciano Machado<sup>1</sup>  
Sávio Lair Cavalcante Silveira<sup>2</sup>  
Djalma Valério R. Neto<sup>3</sup>  
Flanelson Maciel Monteiro<sup>4</sup>  
Talita Fernanda Carvalho Gentil<sup>5</sup>  
Jonei Marques da Costa<sup>6</sup>

### Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos

#### *Resumo*

Na produção de vidro são utilizadas matérias primas como areia, sódio, cálcio e outros componentes químicos. A garrafa de vidro, embalagem utilizada para armazenar bebidas, é 100% reciclável e apresenta excelente resistência. Por outro lado, o vidro precisa de, em média, quatro mil anos para se decompor na natureza; embora possa ser 100% reciclável. No processo de reciclagem utiliza-se 70% menos energia, a emissão de poluentes atmosféricos é reduzida em 20% e o uso de água diminui em 50%; embora no ano de 2011 o Brasil reciclou apenas 47% dos vidros produzidos e utilizados. A proposta deste trabalho foi estudar a incorporação do vidro de garradas em massa cerâmica para a produção de blocos. As matérias primas foram caracterizadas via FRX e DRX. Foram preparadas três formulações com 10, 15 e 20% de vidro. As amostras foram preparadas por prensagem numa prensa uniaxial com pressão de 2,5 Mpa, secas numa estufa a 57°C, durante 24 h, e queimadas num forno tipo mufla a 800, 900, 1000 e 1100°C. Foram realizados os ensaios tecnológicos de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda ao fogo e retração linear. Os resultados sugerem que a adição de vidro de garrafas em massa cerâmica reduz a porosidade aparente e, conseqüentemente, a absorção de água. Teores de vidro em torno de 15% apresentaram os melhores resultados, nas temperaturas mais elevadas.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Corpos cerâmicos; Meio ambiente

---

<sup>1</sup>Prof. Dr.. IFRN – Campus Natal Central/DIACIN, [gracianomil@hotmail.com](mailto:gracianomil@hotmail.com).

<sup>2</sup>Discente. IFRN – Campus Natal Central/DIAREN, [savio.silveira@academico.ifrn.edu.br](mailto:savio.silveira@academico.ifrn.edu.br)

<sup>3</sup>Técnico. IFRN – Campus Natal Central/DIAREN, [djalma.neto@ifrn.edu.br](mailto:djalma.neto@ifrn.edu.br)

<sup>4</sup>Prof. Dr. IFRN – Campus Natal Central, [flanelson.monteiro@ifrn.edu.br](mailto:flanelson.monteiro@ifrn.edu.br)

<sup>5</sup>Prof. Me.. IFBA – Campus Jacobina/DEPEN, [profa.talitagentil@gmail.com](mailto:profa.talitagentil@gmail.com)

<sup>6</sup>Prof. Dr. IFBA – Campus Jacobina/DEPEN, [jonei.costa@gmail.com](mailto:jonei.costa@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

A evolução da indústria do vidro no Brasil tem acompanhado o desenvolvimento econômico do país, representado através do setor automotivo, da construção civil, alimentício e de bebidas. O vidro ordinário é usado em muitos setores da economia, produzindo uma grande quantidade de resíduos.

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 (Zaccaron *et al.*, 2019). 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 (ABI

VIDRO, 2022). Devido o vidro não alterar sabor, odor, cor ou qualidade do produto embalado, garantindo a qualidade final em produtos alimentícios, cosméticos e farmacêuticos; contribuindo para preservar a saúde dos consumidores desses produtos. Por outro lado, acondicionar alimentos e bebidas em recipientes de vidro proporciona a redução do uso de conservantes e estabilizantes nos mesmos.

Notadamente, a maior parte do vidro utilizado para embalagens possui um destino sustentável por ser 100% reciclável; podendo ser reutilizado na forma como foi produzido ou podendo ser incorporado em certos produtos como se fossem matérias primas (GODINHO *et al.*, 2004). Segundo Zaccaron *et al.* (2019), Apesar dos resíduos de vidro serem totalmente recicláveis e reaproveitáveis, existe uma quantia significativa de garrafas sem reenvasamento que são recolhidas pela rede de coletas seletiva, e são destinadas a aterros, gerando assim passivos ambientais.

Na literatura existem diversos estudos sobre a incorporação de resíduos de vidro em produtos diversos. Segundo Shayan e Xu (2004), a incorporação de pó de vidro de embalagem ao cimento pode reduzir este em certa proporção, sem prejuízo de suas

Realização



Apoio





propriedades. Su e Chen (2002) incorporaram pó de vidro ao cimento asfáltico. Tal incorporação nas quantidades investigadas não comprometeram o desempenho do produto final, pois embora a adição de vidro tenha diminuído a estabilidade do cimento asfáltico, tornando-o mais suscetível à deformação quando sob carga, por outro lado, aumentou a reflexão de luz à noite e o atrito; fatores associados à segurança do tráfego.

Godinho *et al.* (2005), realizou um estudo sobre a obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados, onde verificou que a adição de vidro à massa argilosa influencia sua plasticidade, diminuindo os limites de Atterberg; porém, devido à alta plasticidade da massa argilosa empregada, mesmo com a adição de 20% de vidro a massa ainda apresenta limites de Atterberg elevados. Neste estudo, nenhum sinal de cristalização do vidro ou formação de fase decorrente de reação entre vidro e argila pode ser observado. Entretanto, a estrutura sinterizada e as propriedades medidas sofreram grande influência da adição de vidros. A fase líquida, responsável pela maior sinterização das estruturas contendo aditivo, pode ser originada do amolecimento do vidro adicionado.

O vidro é o material conhecido por ser infinitamente reciclável, tendo fundamental importância econômica. O Brasil, por sua vez, é o maior produtor de vidro da América Latina, com produção superior a 1 milhão de toneladas por ano. Por outro lado, razões de natureza econômica e técnica fazem com que enormes quantidades de vidro não sejam recicladas, sendo descartadas em depósitos ou aterros sanitários.

Segundo Carvalho (2003), o Estado do Rio Grande do Norte é um dos maiores produtores de cerâmica vermelha do Nordeste, possuindo 159 cerâmicas em atividade, localizadas em 39 municípios diferentes, distribuídos em três polos: o da grande Natal, o do Seridó e o do Baixo Açu.

A indústria ceramista no Brasil possui um faturamento anual de 18 bilhões, representando 4,8% da indústria da construção civil no país e gerando em torno de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos. Segundo dados divulgados pelo IBGE, o Brasil possui aproximadamente 6.903 fábricas de cerâmica. A indústria ceramista possui tanta relevância para a construção civil e para o país que cerca de 90% das alvenarias e

Realização



Apoio



coberturas do país são baseadas na cerâmica vermelha, conforme ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica).

Segundo dados do Anuário Brasileiro de Cerâmica (2002), a indústria da cerâmica vermelha no Estado do Rio Grande do Norte apresentou um crescimento significativo na última década, onde o número de empresas instaladas duplicou, produzindo aproximadamente 83.000.000 peças/mês e empregando mais de 5.500 trabalhadores. Por outro lado, há um alto índice de perdas, reduzida produtividade e produtos de baixa qualidade; além de possuírem um sistema de controle e avaliação da conformidade dos produtos finais com elevado grau de empirismo.

Vários estudos vêm sendo realizados sobre a incorporação de resíduo de vidro em pisos cerâmicos e porcelana, apresentando resultados interessantes (ASKELAND e PHULÉ, 2008; KOPP GLASS, 2016; FERNANDES, 1999). Devido a matéria prima do vidro ser bem parecida com àquelas dos produtos cerâmicos, o resíduo é quase uma matéria prima natural destes. Por outro lado, a adição desses resíduos deverá provocar elevação nos teores de óxidos considerados fundentes, proporcionando uma maior densificação da estrutura durante a etapa de queima.

A proposta deste trabalho foi estudar a incorporação do vidro de garrafas em massa cerâmica para a produção de blocos.

## METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas uma argila, obtida numa jazida no município de Parelhas – RN, fornecida pela empresa ARMIL. Os resíduos de vidro foram obtidos pela fragmentação de garrafas realizada em moinho de anéis por 15 minutos, sendo utilizado vidro com granulometria 100% passante na peneira de 200 mesh.

As matérias primas foram caracterizadas via fluorescência e difração de raios X, sendo adotado formulações com 10, 15 e 20% de resíduo de vidro. Os corpos de prova foram então compactados numa prensa uniaxial com pressão de 2,5 Tf e mantida em estufa por 24 h a 57°C para a devida etapa de secagem. Após esta etapa os corpos de

Realização



Apoio



prova foram queimados a 800, 900, 1000 e 1100°C. Uma formulação sem adição de vidro foi realizada para fins de comparação.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios tecnológicos, em triplicata, de Absorção de Água, Porosidade Aparente, Massa Específica Aparente, Retração Linear e Perda ao Fogo.

A metodologia simplificada adotada para o pleno desenvolvimento do projeto encontra-se apresentado na Figura 01.

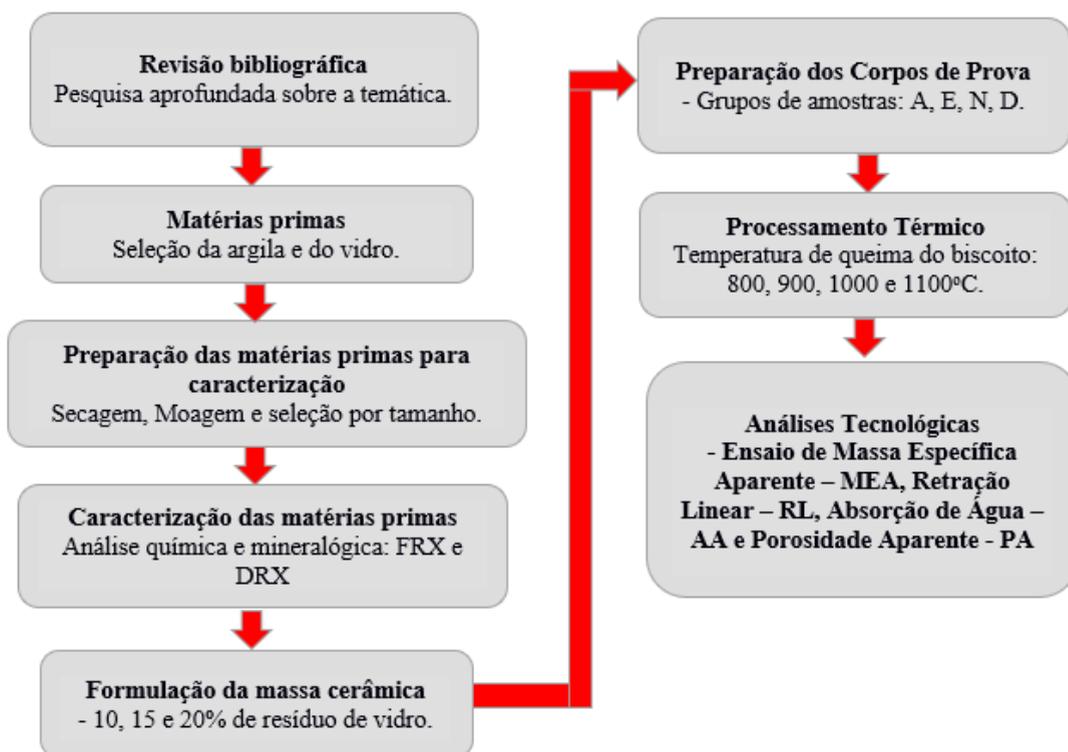


Figura 01: Fluxograma da metodologia adotada no projeto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das Matérias Primas

A Tabela 01 mostra o resultado de fluorescência de Raios X do resíduo de vidro.

Realização

Apoio



Pseudo-óxidos	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	Total
<b>Concentração (%)</b>	59,41	28,81	7,41	3,44	0,73	0,07	0,04	0,04	0,03	0,01	99,99

Tabela 01: Análise semi-quantitativa do resíduo de vidro.

O vidro usado em garrafas ordinárias é composto de sílica, cálcio, fosforo e potássio. Os traços de elementos metálicos podem estar associados as cores dos vidros.

A Tabela 02 mostra o resultado de fluorescência de Raios X e a Figura 02 a difração de Raios X da argila.

Pseudo-óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	ZrO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
<b>Concentração (%)</b>	54,07	31,81	5,59	3,48	1,83	1,41	1,02	0,45	0,11	0,06	99,83

Tabela 02: Análise semi-quantitativa da argila.

Na argila observa-se que o principal óxido presente é o SiO<sub>2</sub> (sílica), com concentração de 54,07%, indicando a presença de silicatos (argilominerais, micas e feldspato) e sílica livre, na forma de quartzo; propiciando redução na plasticidade da argila. O outro óxido em maior proporção é o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 31,81%, geralmente combinado formando os argilominerais. O óxido de ferro – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possui teor de 5,59%, propiciando uma tonalidade escura na massa cerâmica após a queima.

O feldspato com teor de 3,48% é considerado um fundente e confere resistência mecânica quando queimado entre 950° e 1000°C. Os demais óxidos com teores inferiores a 1% são considerados impurezas.

Realização

Apoio



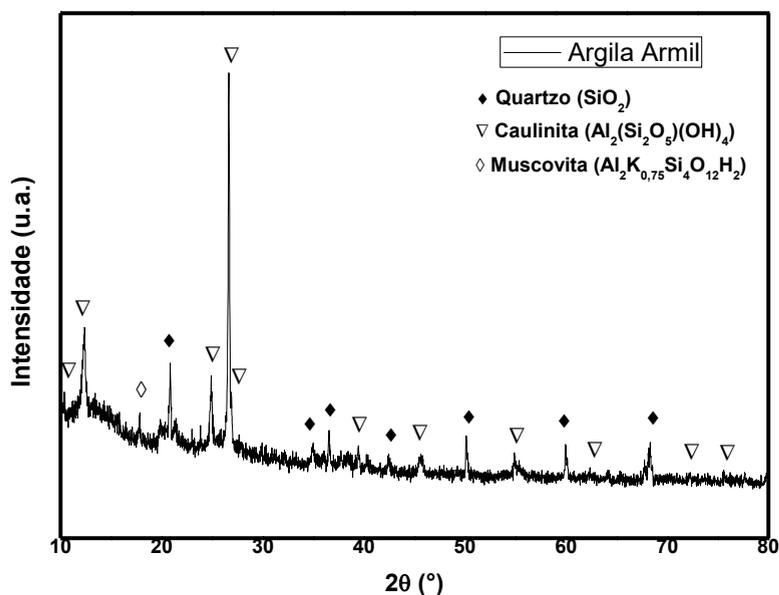


Figura 02: Difratoograma da argila.

No difratograma percebe-se a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ], estando em conformidade com os resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X, e uma possível presença de muscovita.

### Ensaio Tecnológicos

A Figura 03 mostra o resultado do ensaio de Retração Linear em função das concentrações de vidro na massa cerâmica, nas suas respectivas temperaturas de queima.

Realização

Apoio

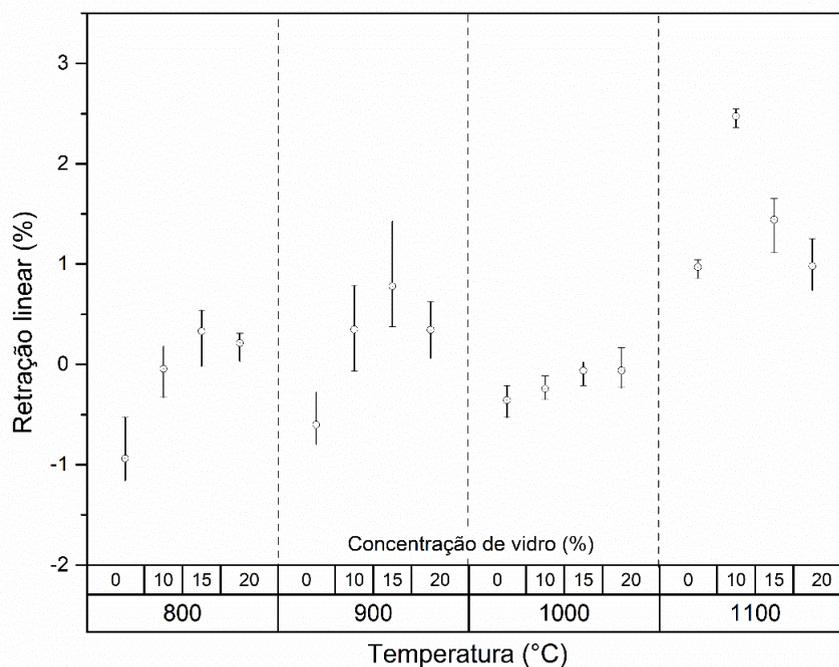


Figura 03: Retração linear em função da temperatura de queima e concentração de vidro.

Os corpos de prova nas formulações estudadas apresentaram um aumento crescente na retração linear com o aumento de temperatura de queima, apresentando os menores valores a 800°C e os maiores a 1100°C.

É perceptível que entre 800° e 900° as maiores retrações acontecem na formulação com percentual dentre 15 e 20% e resíduo de vidro. Na temperatura de 1100°C, próxima ao ponto de fusão do vidro, a retração linear foi mais acentuada; embora sendo inferior a 3%. Nas demais formulações e temperatura de queima a retração linear foi inferior a 1%, sugerindo que a concentração de vidro em massa cerâmica proporcionou uma certa estabilidade dimensional.

A Figura 04 mostra o resultado do ensaio de absorção de água em função da concentração de vidro e temperatura de queima.

Realização

Apoio

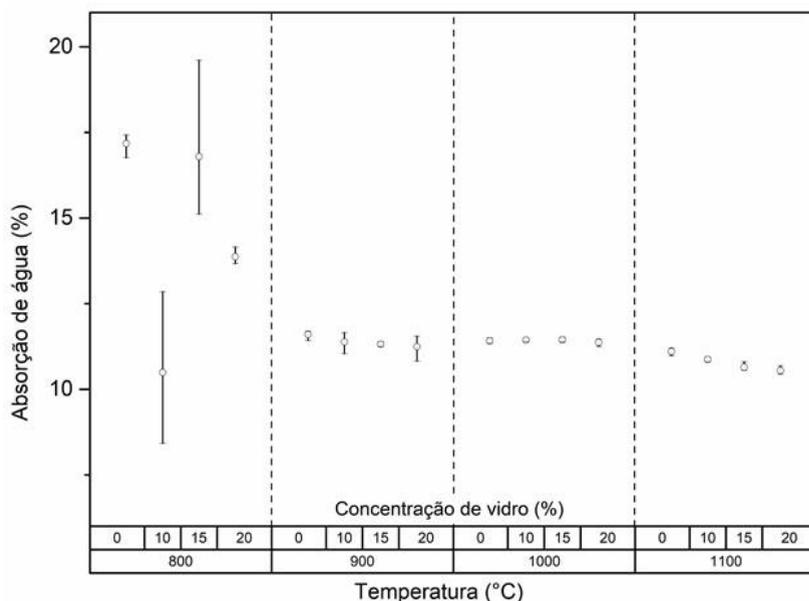


Figura 04: Absorção de água em função da temperatura de queima e concentração de vidro.

A Figura 04 mostra que nos corpos de prova sem resíduo de vidro a absorção de água é menor na temperatura de 800°C, ficando na faixa 17%; ocorrendo uma redução acentuada na faixa de temperatura entre 900 e 1100°C, estabilizando em 11%.

A absorção de água das amostras com adição de vidro em massa cerâmica, são maiores na temperatura de queima de 800°C, ficando na faixa entre 13 e 18%. Quando a temperatura de queima fica entre 900°C e 1000°C, indo a patamares na faixa de 11% de absorção. Na temperatura de queima de 1100°C a redução na absorção de água foi mais acentuada, chegando a 5% em média de redução em comparação com a amostra sem adição de vidro. Este resultado indica que a adição de vidro contribui mais decisivamente na absorção de água apenas quando a temperatura de queima é próxima ao ponto de fusão do vidro. Na prática, como já há formação de fase líquida, naturalmente irá ocorrer preenchimento dos poros e, por conseguinte, redução na absorção.

A Figura 05 mostra o resultado do ensaio de porosidade aparente nas formulações estudadas.

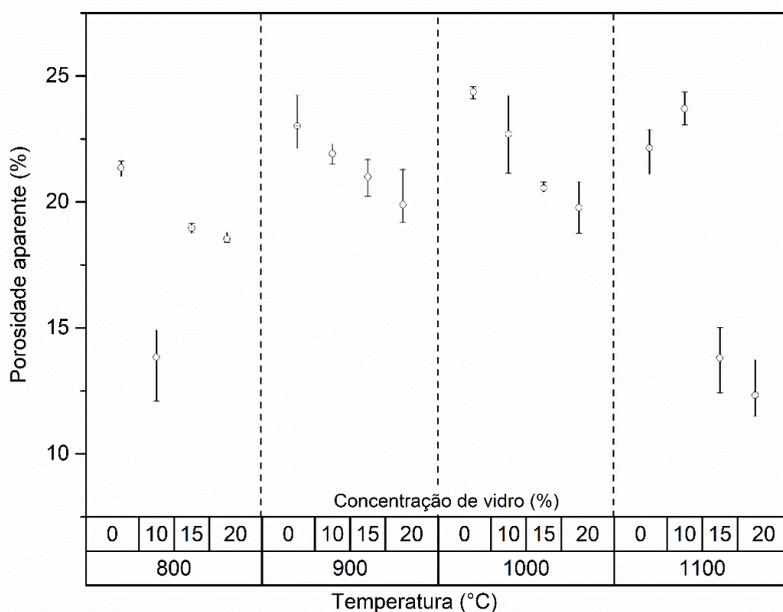


Figura 05: Porosidade aparente em função da temperatura de queima e concentração de vidro.

Analisando a Figura 05 percebe-se que a incorporação de vidro influencia na porosidade aparente do corpo cerâmico. Notadamente, a incorporação de vidro reduz a porosidade, para todas as temperaturas de queima testadas. Para a temperatura de queima a 800°C a porosidade alcançou seu mínimo com 10% de vidro à massa cerâmica. Sendo observado aumento com adição de 15% e 20 % de vidro.

Nas temperaturas de 900 e 1000°C há uma redução na porosidade aparente com a adição de vidro. Este comportamento sugere que o empacotamento das partículas de vidro à massa cerâmica foi mais eficiente, reduzindo os espaços vazios. Não sendo possível atribuir a este comportamento uma fusão parcial do vidro, visto que os valores de porosidade são análogos à 800, 900 e 1000°C. Contudo, a 1100°C é observado uma situação diferente das temperaturas mais baixas.

O acréscimo de 100°C à temperatura de queima (1100°C), eleva as condições de fabricação da cerâmica à temperatura próximas a da fusão do vidro. Esta pequena alteração nas condições de queima, possibilita maior fusão parcial dos elementos constituintes da massa cerâmica, sobretudo as que contêm maior concentração de vidro;

reduzindo-se a porosidade aparente com média de 22,14% sem a adição de vidro para uma média de 12,32% com 20% de vidro.

A Figura 06 mostra o resultado do ensaio de massa específica aparente em função da temperatura de queima e concentração de vidro.

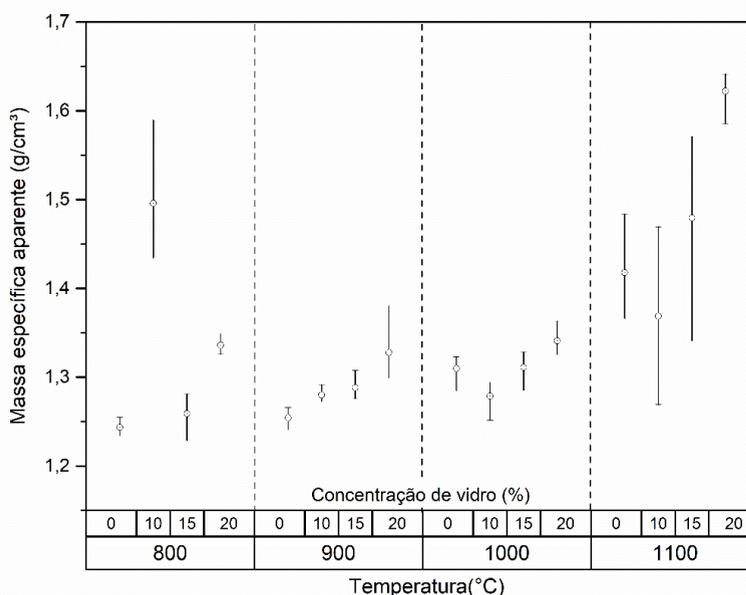


Figura 06: Massa específica aparente em função da temperatura de queima e concentração de vidro.

A massa específica aparente é substancialmente alterada pela concentração de vidro, bem como pela temperatura de queima. O aumento na concentração de vidro reduz os espaços vazios, bem como proporciona uma melhor fusão parcial dos constituintes da cerâmica. Desta forma, é natural um acréscimo substancial à massa específica aparente. Notadamente, o aumento da temperatura de queima, garante maior fusão parcial, e consequentemente reduz a porosidade, acarretando um aumento da densidade.

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam ser interessante a utilização do resíduo de vidro em

massa cerâmica. Comparativamente, as formulações com 15 e 20% de resíduo apresentaram os melhores resultados, sugerindo que essa quantidade de resíduo é satisfatória para a incorporação em massa cerâmica, apresentando a vantagem de reduzir a tendência ao surgimento de trincas nas peças durante a etapa de secagem e queima; bem como uma redução na variação dimensional. Por outro lado, mas não menos importante, há uma contribuição para a redução do uso de matérias primas virgens e de contribuir efetivamente com a redução no impacto ambiental propiciado pelo descarte de garrafas de vidro que comumente não são recicladas.

No geral, adições de vidro contribuem para a sinterização da argila, aumentando a retração de queima e a tensão de ruptura à flexão, diminuindo, por conseguinte, a absorção de água. Quanto maior a adição, mais intenso é este efeito. Por outro lado, o aspecto visual das peças pode ser prejudicado devido a ocorrência de overfiring, ou seja, fusão em excesso, apresentando-se como pontos isolados de fusão na superfície das peças.

## **A**GRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de pesquisa Processamento Mineral – Campus/Natal Central pelo apoio e suporte técnico no desenvolvimento deste projeto, a DIPEQ/CNAT/IFRN pelo aporte financeiro na forma de bolsa de pesquisa e ao Laboratório de Tecnologia Mineral e Materiais – LT2M do IFRN/Campus Natal Central.

## **R**EFERÊNCIAS

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. 2022. Disponível em: <https://abividro.org.br/>. Acesso em 01/05/2022.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P.. **Ciência e engenharia dos materiais**. Cengage Learning 1ª ed, 2008, p 433.

CARVALHO, O. O. de.. **O polo cerâmico do Seridó, no Rio Grande do Norte – Características e peculiaridades**. 47o CBC – Congresso Brasileiro de Cerâmica. João Pessoa-

Realização

Apoio



PB, 2003.

GODINHO, K.O., RABELO, T.R., HOLANDA, J.N.F., SILVA, A.G.P. **Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha.** In: 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2004, Curitiba, PR., Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica. p. 1-10, 2004.

GODINHO *et al.*. **Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados.** Cerâmica 51, pp. 419-427, 2005.

KOPP GLASS. Disponível em: <<http://www.koppglass.com/blog/3-commonglass-types-properties-applications/>>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

SU, N.; CHEN, J. S.. **Resources, Conservation and Recycling.** 35 (2002) 259-274.

SHAYAN, A.; XUA, A.. **Cement and Concrete.** Res. 34, 1 (2004) 81-89.

ZACCARON, A. *et al.*. **Efeito da adição de resíduo de vidro em massa de cerâmica de alvenaria.** Revista Matéria. , V. 24, N. 04. ISSN 1517-7076 artigo e-12496, 2019.

Realização



Apoio

