



JOURNAL OF ECOINNOVATION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT - online (2965-9515)

ANÁLISE TÉRMICA DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO NA CERÂMICA VERMELHA

THERMAL ANALYSIS OF THE ADDITION OF WASTE GLASS TO RED CERAMICS

Eduarda Maryanne Fonsêca de Medeiros

<https://orcid.org/0009-0001-6619-2127>

Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia do Rio Grande Do Norte

maryanne.eduarda@escolar.ifrn.edu.br

Marcondes Mendes de Souza

<https://orcid.org/0009-0009-4013-9641>

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte

marcondes.mendes@ifrn.edu.br

José Beldson Elias Ramos

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte

beldson.elias@escolar.ifrn.edu.br

Augusto César Fialho Wanderley

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte

augusto.fialho@ifrn.edu.br

Isadora Maria Cruz Eneas

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte

isadora.cruz@escolar.ifrn.edu.br

Maria Clara Paulino de Amorim

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte

clara.amorim@escolar.ifrn.edu.br

RESUMO

O vidro é um material extremamente versátil com propriedades físico-químicas anômalas, devido ao seu uso abundante é responsável por uma quantidade excessiva de resíduos. Portanto, o vigente trabalho realizou uma análise de comparação térmica, nas temperaturas de 900 °C e 1000 °C, da incorporação do resíduo de vidro na indústria cerâmica, de modo a beneficiar não apenas econômica e qualitativamente a indústria cerâmica, como também o meio ambiente. Diante dos testes físicos de retração linear de queima, perda ao fogo, porosidade



aparente e absorção de água, conclui-se que a adição do resíduo de vidro é uma alternativa viável para a indústria cerâmica, ambiental, econômica e qualitativamente, auxiliando sobretudo na redução da perda média ao fogo porosidade aparente, principalmente na temperatura de 1000°C. Baseando-se no teste de absorção de água comprovou as formulações cerâmicas na temperatura de 900 °C são recomendadas para climas temperados ou tropical, enquanto as formulações na temperatura de 1000 °C, são indicadas para climas frios e temperados.

Palavras-chave: Mineração; cerâmica; vidro; temperatura; sustentabilidade.

ABSTRACT

Glass is an extremely versatile material with anomalous physical and chemical properties, and due to its abundant use it is responsible for an excessive amount of waste. Therefore, the current study carried out a thermal comparison analysis, at temperatures of 900 °C and 1000 °C, of the incorporation of waste glass in the ceramics industry, in order to benefit not only the ceramics industry economically and qualitatively, but also the environment. Based on the physical tests of linear firing shrinkage, loss on firing, apparent porosity and water absorption, it can be concluded that the addition of waste glass is a viable alternative for the ceramics industry, environmentally, economically and qualitatively, helping above all to reduce the average loss on firing and apparent porosity, especially at a temperature of 1000°C. Based on the water absorption test, ceramic formulations at 900 °C are recommended for temperate or tropical climates, while formulations at 1000 °C are suitable for cold and temperate climates.

Keywords: Mining; ceramics; glass; temperature; sustainability.

INTRODUÇÃO

A mineração exerce uma grande parcela na influência econômica, sendo um dos alicerces da sociedade moderna. Uma de suas ramificações é a indústria cerâmica, a qual está diariamente presente no cotidiano social, desde a produção de tijolos e telhas até próteses. Portanto, o aperfeiçoamento e a sustentabilidade desse setor são extremamente benéficos e necessários para o desenvolvimento da humanidade, no entanto, essa indústria também acarreta produção de uniremos poluentes.

O crescente desenvolvimento mundial dos materiais cerâmicos nas últimas décadas, fez com que o conhecimento científico e tecnológico se tornasse cada vez mais necessário na área. A competitividade entre as indústrias cerâmicas exige que estas busquem minimizar seus custos de produção, sem que prejudiquem seus padrões de qualidade e atendam às normas propostas pelos órgãos nacionais e internacionais de controle de qualidade. (LUZ, APi; RIBEIRO, S. 2008, p.97).

No mesmo âmbito de poluentes a indústria do vidro, o qual é um material extremamente versátil com propriedades físico-químicas anômalas. Em decorrência dessa versatilidade o mesmo é aplicado nas mais diversas áreas, desde fabricação de pratos até placas fotovoltaicas. Seu uso abundante é responsável por uma quantidade excessiva de resíduos, que frequentemente, apesar da sua capacidade de reciclagem, acabam por não retornar a cadeia de produção, segundo Bastos (2023) apenas 20 a 25% do vidro consumido retorna a cadeia produtiva no Brasil.



O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais; primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo. (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002 p. 303).

Ademais, a redução dos resíduos e aprimoramento da produção cerâmica a adição do resíduo de vidro é conjuntamente economicamente vantajosa. Devido ao baixo interesse no uso do vidro reciclável e a lei de oferta e da procura, o mesmo pode ser adquirido por valores mais acessíveis em comparação a outros compostos cotidianamente usados pela indústria cerâmica, como quartzo ou feldspato.

A areia natural (quartzo e calcário) possui como sua composição principal o SiO_2 e é a principal matéria prima para o vidro comum. O vidro em sua forma final pode conter em torno de 70% deste composto químico, evidenciando a similaridade da sua composição com a areia (GUIA RECICLAGEM DO VIDRO – ABIVIDRO, 2013).

Portanto, o presente trabalho tem como principal intuito realizar uma análise de comparação térmica da incorporação do resíduo de vidro na indústria cerâmica, de modo a beneficiar não apenas econômica e qualitativamente a indústria cerâmica, como também o meio ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção das massas cerâmicas empregadas neste estudo, foram realizados os processos de coleta e amostragem para utilização da argila oriunda do município de Açú- Rio Grande do Norte. Além do composto ligante, o presente trabalho promoveu a incorporação do vidro temperado, proveniente do mesmo estado.

Após a coleta e amostragem, esses compostos não apresentavam uma granulometria adequada para a confecção dos corpos de prova, então foram submetidos à cominuição para reduzir o tamanho das partículas, além de um peneiramento a seco em uma peneira de 200 mesh (#), equivalente a uma abertura da peneira de 0,074 milímetros.

Figura 1- Vidro temperado antes de ser submetido aos processos de cominuição.



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, foram elaboradas 4 formulações diferentes de cerâmicas contendo diferentes proporções de argila e vidro, conforme apresentado na Tabela 1. Visando seguir a norma da ABNT NBR 13006 e determinar em qual grupo cerâmico as variações de formulações se encaixam, foram feitas 80 amostras, 20 amostras por formulação, pois serão submetidas a duas temperaturas de sinterização, resultando em uma produção de 10 corpos de prova para cada conjunto de variação.

Tabela 1: Tabela de Classificação de cerâmica vermelha em função da absorção de Água.

Climas	% AA
Temperado ou tropical	≤ 20
Frios e temperados	≤ 12
Muito frio e úmido, durante longos períodos, inclusive sujeitos a ciclos frequentes de gelo e degelo	≤ 7

ABNT NBR 15310 (2009).

Na confecção dos corpos de prova foram empregados uma argila e adicionado vidro com uma variação de porcentagens de 0%, 3%, 5% e 10%, nas diferentes formulações, o vidro tem função esqueleto para a cerâmica, semelhante ao quartzo, mineral frequentemente utilizado na indústria



cerâmica e com composição semelhante, devido à alta concentração de sílica. Ao final, esses materiais somavam-se em aproximadamente 12 gramas, que ao serem adicionados de 10% de água destilada, resultam em 13,2 gramas por amostra, Tabela 2.

Tabela 2: Formulações de cerâmicas contendo diferentes proporções de argila e vidro.

Compostos	Argila	Vidro	Água destilada
Formulação 1	100%	0%	10%
Formulação 2	97%	3%	10%
Formulação 3	95%	5%	10%
Formulação 4	90%	10%	10%

Fonte: Autor (2024)

Após a homogeneização, os compostos ficaram em repouso por 24 horas e posteriormente passaram pela prensagem em uma prensa uniaxial com uma pressão de 2,5 toneladas. Na sequência, visando retirar a umidade, foram encaminhadas para um forno estufa por mais um período de 24 horas, com temperatura média de 110 °C e depois passaram pelo forno mufla para a sinterização. Com um patamar de 60 minutos e taxa de aquecimento de 10°C/min, o forno atingiu a temperatura adequada e, ao final do processo, ocorreu o resfriamento natural. Essas variações foram empregadas nas temperaturas de 900°C e 1000°C, amostras dispostas nas figuras 2 e 3, nas quais as peças que se encontram na parte superior na menor concentração do resíduo de vidro, concentração na qual aumenta de modo inversamente proporcional a posição dos corpos de prova nas figuras.

Figura 2- Corpos de prova após a sinterização na temperatura de 900°C.



Fonte: Autor (2024).

Figura 3- Corpos de prova após a sinterização na temperatura de 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

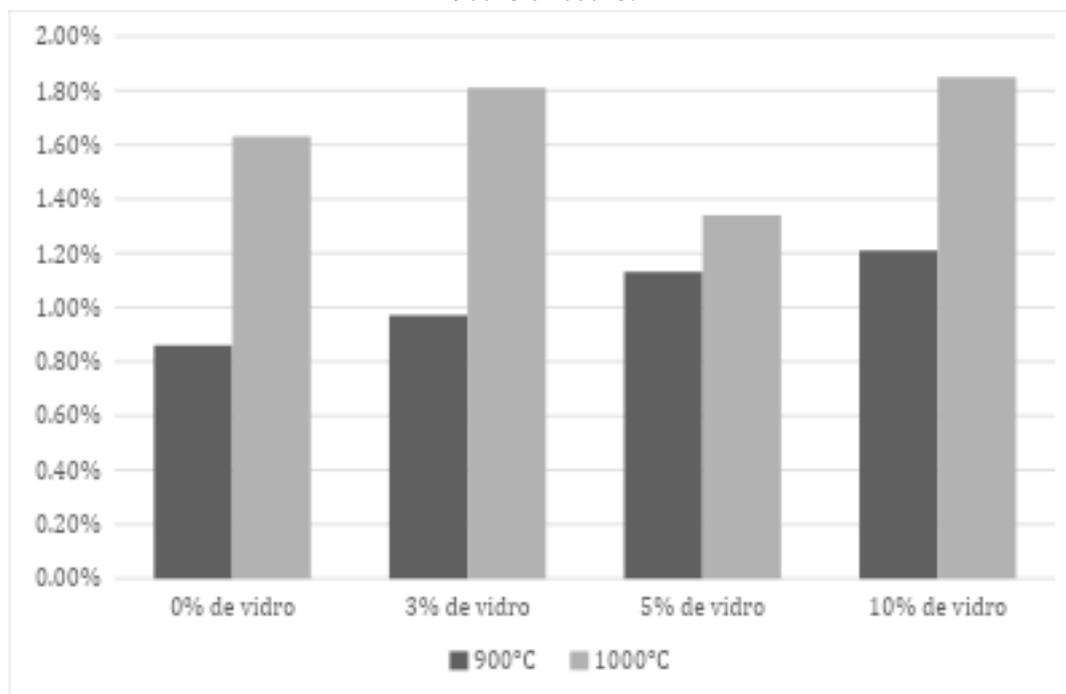
Ao final da sinterização, os corpos de prova foram submetidos aos testes físicos, objetivando classificar o tipo cerâmico e conseqüentemente seu melhor uso no âmbito da indústria, de retração linear de queima, perda ao fogo, porosidade aparente e absorção de água, a fim de determinar a qual grupo cerâmico as variações de formulações pertencem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA

O teste físico de retração linear, Figura 4, foi realizado com o intuito de analisar o processo de contração sofrido pelos materiais, devido a exposição a altas temperaturas, que partem desde a secagem no forno estufa até a sinterização, de modo que os corpos de prova sofram essa retração até o ponto de fusão do material. De modo geral, todas as oito variações de formulação e temperatura apresentaram uma retração linear média de queima baixa, sendo inferiores a 2%.

Figura 4- Gráfico de Retração linear média de queima dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

Na temperatura mais baixa, 900 °C, foi possível observar que a adição do resíduo de vidro resultou no aumento da retração linear média de perda, por se tratar de um composto fundente, nesse quesito se assemelhando muito ao feldspato, que assim como o quartzo, exerce grande influência na produção cerâmica. Nessa temperatura a retração média foi relativamente baixa, principalmente por se tratar de uma cerâmica vermelha. A argila apresentou uma retração de 0,86% do seu comprimento total, na comparação da média dos corpos de prova antes e depois da sinterização, a comutação da argila com um percentual de 3% de vidro resultou na retração de 0,97%, 0,09% maior em comparação a argila pura, e as retrações foram 1,13% e 1,21%, nas porcentagens de, respectivamente, 5% e 10% de vidro.

Já na temperatura mais alta, 1000°C, como era esperado, obteve-se uma retração linear mais elevada, decorrente da maior fusão dos compostos conforme a elevação da temperatura. Todas as porcentagens de retração se aproxima de 1%, sendo 1,63% na argila pura, 1,81% no composto ligante com 3% do resíduo, 1,34% com 5% de vidro e 1,85% com 10%.

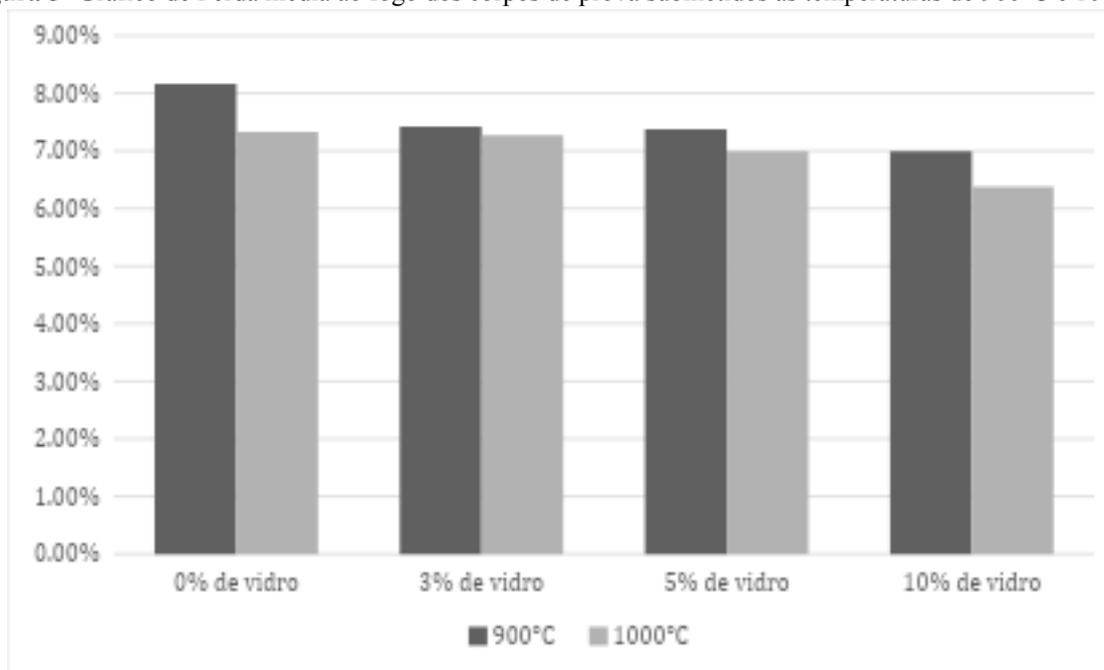
A porcentagem de 5% apresentou curiosamente a retração linear de queima média de 1,34%, sendo a menor dessa temperatura, uma variável pequena em comparação as demais porcentagens, no

entanto, esse resultado pode apresentar indícios que em uma determinada porcentagem o composto de vidro se estabilize e auxilia na redução da retração, em temperaturas mais elevadas.

PERDA AO FOGO

Os testes de perda ao fogo, Figura 5, os quais comparam a perda de peso da peça ao longo dos processos de secagem e sinterização, as formulações apresentaram resultados satisfatórios em decorrência da adição do vidro. A redução de perda ao fogo indica uma diminuição na perda de material durante a sinterização, a qual deveria ser inversamente proporcional ao aumento de temperatura, no entanto, uma possível presença de gases voláteis durante a queima na maior temperatura pode ter ocasionado a inversão dos resultados acima apresentados. A perda ao fogo representa também uma perda de material, portanto, a redução desse fator é positiva para as indústrias de produção cerâmica, sobretudo na produção de pequena e média escala.

Figura 5- Gráfico de Perda média ao fogo dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

Na temperatura de 900°C a incorporação de 10% do resíduo provocou uma redução de 1,16% em comparação com a formulação com 100% de argila de Açú, sendo mais prudente a adição nessa temperatura. A adição de 3% só vidro resultou na perda de 7,42% e com 5% do resíduo ocasionou na diminuição de 7,38%. Na temperatura de 1000°C os resultados da adição acarretaram em uma redução

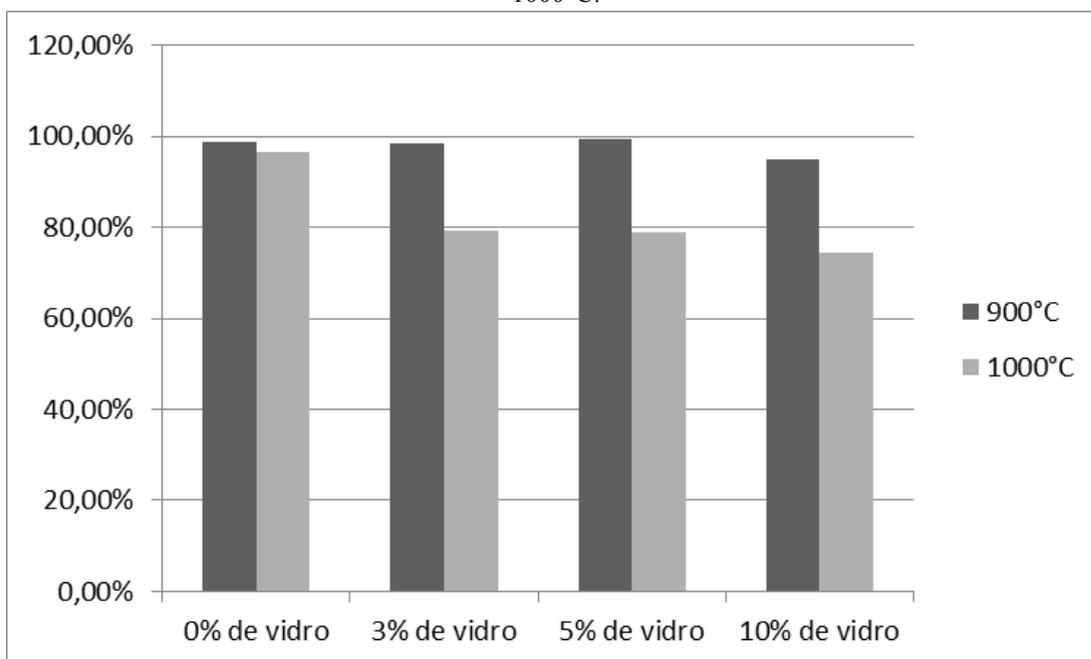
de 0,95%, na comparação das formulações de 0% e 10% de vidro, as formulações de 3% e 5% promoveram, respectivamente, 7,27% e 7% de perda média ao fogo. No geral, a perda ao fogo de todas as formulações se mostrou relativamente baixa, mesmo nas amostras com 0% de vidro, sendo inferiores a 9% do peso total dos corpos de prova.

POROSIDADE APARENTE

Os testes de porosidade média aparente, disposto na Figura 6, calculam a quantidade média de poros dentro das amostras, por se tratar de uma cerâmica vermelha, urge a necessidade de um número maior de poros. A comutação do resíduo de vidro provocou uma redução de 0,20% e 3,7%, mutuamente nas porcentagens de 3% e 10% de vidro, na temperatura de 900°C. Ambas as temperaturas, assim como indicado pelo teste de perda ao fogo, a estabilidade associada a adição de 5% de vidro resultou em uma porosidade aparente maior quando comparado aos 3% e 10% do resíduo.

O aumento da temperatura resultou em uma maior redução da porosidade aparente, em coração ao uso de 0% e 10% do material, na temperatura mais baixa a redução tinha sido de apenas 0,20%, no entanto, na temperatura seguinte essa redução se ampliou para 22%.

Figura 6- Gráfico de porosidade média aparente dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



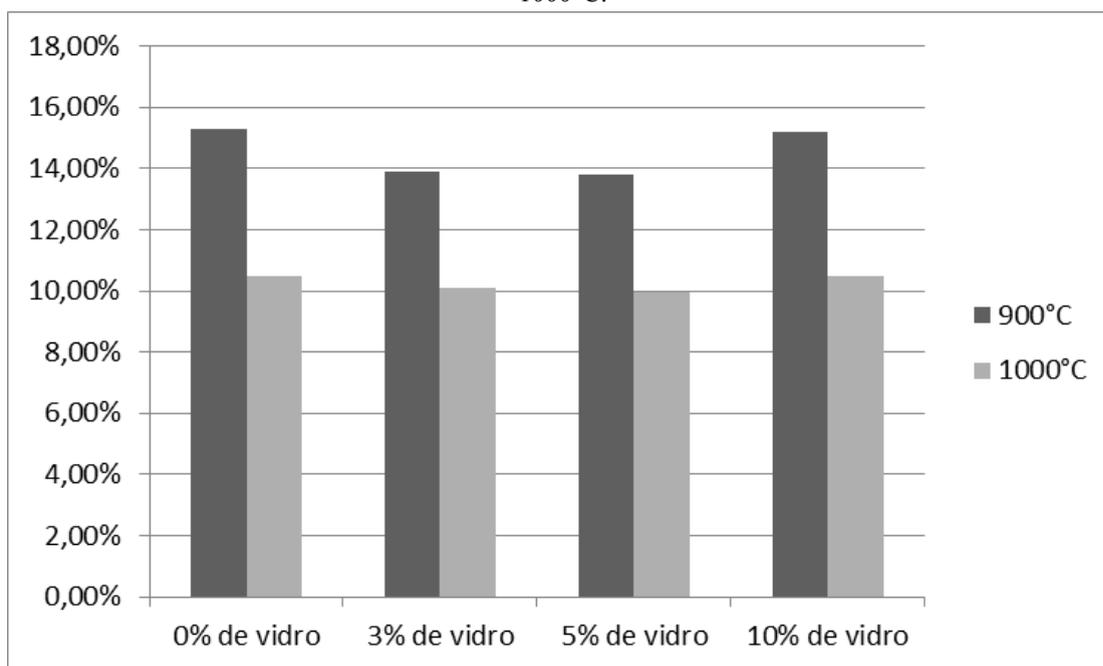
Fonte: Autor (2024).

Todas as formulações apresentaram um número elevado na porcentagem de poros, no entanto é factível observar que a presença do vidro em maior quantidade ajudou na redução desse número, assim, conseqüentemente uma menor absorção de água nas mesmas. Com a redução da porosidade e, conseqüente aumento da densidade da peça, a absorção de água reduziu. (TAGUCHI, S. P. et al.,2014).

ABSORÇÃO DE ÁGUA

O teste de absorção de água, Figura 7, determina o melhor clima no qual o tipo cerâmico irá desenvolver melhores resultados e conseqüentemente o uso recomendado para os mesmos, sendo considerado um dos testes mais importantes.

Figura 7- Gráfico de absorção média de água dos corpos de prova submetidos às temperaturas de 900°C e 1000°C.



Fonte: Autor (2024).

Conforme a tabela 1, de absorção de água da ABNT, para telhas, as formulações cerâmicas na temperatura de 900°C são recomendadas para climas temperados ou tropicais, tendo como exemplo o clima do Brasil, enquanto as formulações na temperatura de 1000°C, que apresentaram uma menor absorção de água em comparação a temperatura inferior, são indicadas para climas frios e temperados.



CONCLUSÃO

Conforme os dados apresentados ao longo do presente trabalho conclui-se que a adição do resíduo de vidro é uma alternativa viável para a indústria cerâmica, gerando uma redução dos impactos ambientais gerados pelo acúmulo do resíduo de vidro que não retorna para a cadeia produtiva, sendo economicamente vantajosos, levando em conta o baixo custo do vidro reciclável e qualitativamente, devido à composição semelhante do vidro com o quartzo.

A incorporação do vidro auxiliou, sobretudo na redução da perda média ao fogo e da porosidade aparente das peças cerâmicas, principalmente na temperatura de 1000 °C. Esse fator decorre da majoritária presença de sílica no vidro, a mesma tem um ponto de fusão de 1710 °C assim agindo como um anti-fundente, reduzindo a perda ao fogo e porosidade aparente.

Baseando-se no teste de absorção de água, comprovou as formulações cerâmicas na temperatura de 900 °C são recomendadas para climas temperados ou tropicais, tendo como exemplo o clima do Brasil, enquanto as formulações na temperatura de 1000°C, que apresentaram uma menor absorção de água em comparação a temperatura inferior, são indicadas para climas frios e temperados.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15310: **Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13006: **Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BASTOS, Pietra. Reciclagem de embalagens de vidro reduz a emissão de CO₂, diz CEO da Massfix. 2023. Disponível em: [ESG Insights](#). Acesso em: 10/09/2024.

Guia – Reciclagem do vidro 100% puro 100% reciclável. ABIVIDRO, 2013. Disponível em: . Acesso em 06 de novembro de 2024.

LUZ, APi; RIBEIRO, S. Uso de pó de vidro como fundente para produção de grês porcelanatos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 13, p. 96-103, 2008.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, p. 303-313, 2002

TAGUCHI, S. P. et al. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. *Cerâmica*, v. 60, p. 291-296, 2014.