

DESENVOLVIMENTO DE VIDRADO CERÂMICO MEDIANTE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO COLORIDO

DEVELOPMENT OF CERAMIC GLAZE THROUGH INCORPORATING OF COLORED GLASS WASTE

ARAÚJO, Railde Paula Diniz; Mestra; Universidade Federal do Maranhão

raildediniz@gmail.com

SANTOS, Denilson Moreira; Doutor; Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão

Denilson.santos@ufma.br

Resumo

O design vem desenvolvendo pesquisas relacionadas à sustentabilidade, bem como no desenvolvimento de novos materiais. A presente pesquisa visa avaliar a possibilidade de desenvolver vidrados cerâmicos incorporando resíduos sólidos de vidros nas cores verde, âmbar e azul em fundentes comerciais, assim como a viabilidade desses vidrados serem queimados a baixas temperaturas em forno elétrico, visando contribuir para os aspectos social, cultural e econômico. A metodologia foi composta pelas etapas de preparação do esmalte, sinterização em diferentes temperaturas, teste do botão de escorrimento, resistência à flexão, testes de pintura (imersão, pincel e pistola) e queima no forno elétrico, resultando no desenvolvimento de 36 vidrados/esmaltes que apresentaram variação de tonalidades de cores, texturas, brilho e boa cobertura quando tratados termicamente sob as temperaturas de 900 °C e 950 °C."

Palavras Chave: Design; Resíduos de vidro; Vidrado cerâmico.

Abstract

Design has been developing research related to sustainability, as well as developing new materials. This research aims to evaluate the possibility of developing ceramic glazes incorporating solid waste glass in green, amber and blue colors in commercial fluxes, as well as the feasibility of these glazes being fired at low temperatures in an electric kiln, aiming to contribute to the social and cultural aspects and economical. The methodology consisted of the stages of enamel preparation, sintering at different temperatures, flow button test, flexural strength, painting tests (immersion, brush and gun) and firing in the electric oven, resulting in the development of 36 glazes/enamels which presented variation in color tones, textures, brightness and good coverage when heat treated at temperatures of 900 °C and 950 °C

Keywords: first keyword; second keyword; third and last keyword.

1 Introdução

Desde a Revolução Industrial, a produção de bens de consumo aumentou consideravelmente em todo o mundo, contribuindo significativamente para o aumento dos resíduos sólidos descartados no meio ambiente. No que diz respeito a essa prática de descarte, entretanto, existem poucas intervenções e/ou mecanismos que venham a minimizar os problemas gerados pelos resíduos sólidos.

A NBR 10004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitua os resíduos sólidos como aqueles

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam das atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível. (NBR 10004, 2004).

“A preocupação com a minimização do impacto ecológico provocado pela engenharia de produtos aumenta a conscientização em relação ao projeto voltado para a sustentabilidade.” (Ashby; Johnson, 2011, p. 9). Neste âmbito, o design pode contribuir com a sustentabilidade na medida em que são utilizadas estratégias e métodos para diminuir e/ou contornar problemas de ordem social, econômico e ambiental. (Calear; Oliveira, 2013, p.55). Por isso se fazem necessários estudos voltados aos materiais com menor impacto ao meio ambiente.

Manzini e Vezzoli (2008) enfatizam o design para a sustentabilidade, sendo sua metodologia conhecida como *Life Cycle Design* (LCD) sendo definida como a concepção de produtos em que durante todas as suas fases de projeto são consideradas as possíveis implicações ambientais ligadas ao seu ciclo de vida, procurando reduzir possíveis impactos ambientais.

“A vida útil do produto é curta, reutiliza-los ou recicla-los oferece ganhos particularmente grandes.” (Ashby; Johnson, 2011, p. 71). Muitas indústrias estão utilizando resíduos sólidos no desenvolvimento de novos produtos, ou matéria-prima na composição de materiais, como é o caso do uso de resíduos de lâmpadas fluorescentes (Mombach, et al. 2006) e o uso do resíduo gasto de cuba conhecido como SPL (Prado, et al. 2008), ambos como matéria prima na obtenção de fritas cerâmicas.

Existem muitas pesquisas envolvendo o desenvolvimento de fritas cerâmicas, no entanto poucas pesquisas resultam na produção de um vidrado cerâmico. “O vidrado, além de impermeabilizar o suporte cerâmico, deve possuir características técnicas e estéticas que sejam adequadas ao uso ao qual se destina o produto.” (Sanchés, 1997, p.32). Os vidrados/esmaltes cerâmicos, melhoram tanto os aspectos físicos/químicos, quanto os aspectos estéticos das peças cerâmicas.

Em vista dos aspectos mencionados acima, o presente artigo visa o desenvolver de vidrados cerâmicos utilizando os resíduos sólidos de vidro Sílica-cal-soda nas cores verde, âmbar e azul, para esses vidrados serem queimados a baixas temperaturas em forno elétrico, visando contribuir para aspectos social, ambiental, econômicos, cultural e repassar o conhecimento para os artesãos locais.

2 Referencial teórico

2.1 Materiais, design e sustentabilidade

No decorrer do tempo e com o avanço das tecnologias, os materiais sofreram mudanças tanto em suas estruturas quanto em sua funcionalidade. É interessante observar que, diante deste cenário a quantidade e tipos de materiais aumentou consideravelmente.

Para Ashby e Johnson (2011) a partir da ciência e tecnologia podem surgir novos processos e materiais que incitam novas oportunidades para o design de produto.

Vivemos em um mundo de materiais. São os materiais que dão substância a tudo que vemos e tocamos. Nossa espécie – Homo sapiens – é diferente das outras, talvez mais significativamente pela habilidade de projetar – produzir “coisas” a partir de materiais – e pela capacidade de enxergar mais em um objeto do que apenas a sua aparência. Objetos podem ter significado, despertar associações ou ser signos de ideias mais abstratas. Objetos projetados, tanto simbólicos quanto utilitários, precedem qualquer linguagem registrada - e nos dão a mais antiga evidência de uma sociedade cultural e do raciocínio simbólico. (Ashby; Johnson, 2011, p. 3).

A Revolução Industrial proporcionou transformações significativas no que se refere a produção, consumo e descarte dos produtos, principalmente a relação que o consumidor tem com o produto, isso implica mudança na esfera cultural, social e econômica, intensificando o surgimento de diversos materiais para a produção de produtos.

Diante deste cenário onde há uma produção constante de materiais, há também uma preocupação em relação ao meio ambiente. “A preocupação com a minimização do impacto ecológico provocado pela engenharia de produtos aumenta a conscientização em relação ao projeto voltado para a sustentabilidade.” (Ashby; Johnson, 2011, p. 9). Neste âmbito, o design pode contribuir com a sustentabilidade na medida em que são utilizados estratégias e métodos para diminuir e/ou contornar problemas de ordem social, econômico e ambiental. (Calear; Oliveira, 2013, p.55).

Por isso se fazem necessários estudos voltados aos materiais com menor impacto ao meio ambiente e/ou projetos que venham a atender essa demanda. Em virtude da preocupação com a questão da sustentabilidade surgiu o ecodesign. Para Manzini e Vezzoli (2008) o ecodesign é um modelo projetual ou de projeto (design) orientado por critérios ecológicos. Incluem o projeto territorial, além dos projetos gráficos, arquitetônicos e de bens de consumo, os quais possibilitam a inter-relação entre ecologia e o design em suas diversas articulações de forma a estender conceitos à problemática ambiental.

Manzini e Vezzoli (2002) enfatizam o desenvolvimento do design para a sustentabilidade significa

Promover a capacidade do sistema produtivo em proporcionar o bem-estar utilizando uma quantidade de recursos ambientais inferior aos níveis atualmente praticados. Assim, os autores enfatizam que “o design para a sustentabilidade pode ser reconhecido como uma espécie de design estratégico. (Manzini; Vezzoli, 2002, p. 23).

Diante deste cenário, o designer deve projetar e desenvolver pesquisas voltadas para a sustentabilidade. A reutilização de resíduos sólidos torna-se uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. É importante aumentar o número de pesquisas com esse enfoque.

2.2 Resíduos sólidos de vidro

De acordo com Lima (2006) o vidro é uma solução mútua de óxidos inorgânicos fundidos, resfriados para uma condição rígida sem cristalização, formando uma variedade de objetos rígidos e transparentes.

A quantidade de resíduos gerados pelos materiais (polímeros, alumínio, vidros etc) que não se desintegram no meio ambiente vêm aumentando consideravelmente no decorrer do tempo, embora existam alguns sistemas que retornam os produtos para as indústrias, como o caso das garrafas de vidro retornáveis, outro fator que contribuiu para o aumento de resíduos são os produtos com obsolescência.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram escolhidos os resíduos do vidro Sílica-cal-soda, são provenientes de potes, frascos, garrafas, etc. podem contribuir para abaixar a temperatura de fusão, desse modo pode auxiliar na sinterização dos vidrados em baixas temperaturas, pois a fusão da sílica pura inicia em temperaturas elevadas, além da variação de cores, onde pode ajudar nos estudos relacionados a pigmentação dos vidrados.

Em relação a utilização do resíduo de sílica-cal-soda em outros processos industriais o Peltier e Saporta (2009), diz que

O vidro é um material que, em essência, provém da areia. Seu circuito de fabricação é o mais curto que existe: diretamente do vidro em fusão no forno, nascem potes de geleia, frascos de perfume ou, ainda, garrafas de vinho conformadas a quente num molde. Como a fusão da areia começa a temperaturas muito elevadas, da ordem de 1600 °C, os vidreiros preferem adicionar vidro calcinado, originário da coleta seletiva de embalagens domésticas, que permite abaixar sensivelmente a temperatura de fusão e limita o consumo de energia. (Peltier; Saporta, 2009, p.54).

De acordo com a classificação dos resíduos sólidos, os vidros Sílica-cal-soda, são classificados como resíduos de classe II – inertes conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004). Outros resíduos utilizados nesta pesquisa juntamente com o resíduo de vidros foram os resíduos de rochas e lama vermelha, estes foram utilizados no desenvolvimento de pigmentos, contribuindo para o aumento da variação cores dos vidrados.

3 Materiais e métodos


3.1 Materiais utilizados no desenvolvimento dos vidrados cerâmicos

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais no desenvolvimento dos vidrados cerâmicos:

1. Resíduos (vidro, rochas sedimentares e lama vermelha);
2. Fundente (Fundente Transparente Alcalino e o Branco Brilhante Alcalino);
3. Carboximetilcelulose – CMC;
4. Água.

Os resíduos utilizados no desenvolvimento dos vidrados cerâmicos, juntamente com a classificação segundo a NBR 10004 e sua procedência (conforme Quadro 1).

Quadro 1 – Os resíduos, a classificação de acordo com a NBR 10004 e sua procedência.

Resíduos	Tipo	Classificação NBR 10004 (ABNT, 2004)	Procedência
	Vidros Sílica-cal- soda	resíduos da classe II – inertes.	As garrafas foram coletadas pelos pesquisadores em ambiente doméstico.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

3.2 Metodologia

Primeiramente foram confeccionadas pastilhas cerâmicas que foram utilizadas como substratos para testes de esmaltação. As etapas metodológicas do desenvolvimento de vidrado com resíduos, conforme Figura 1.

Figura 1 – Etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pelos autores (2014)

Onde:

1. Obtenção do pó dos resíduos;
2. Composições com diferentes percentuais de resíduo;
3. Testes de queima em diferentes temperaturas;
4. Testes do botão de escorrimento;
5. Teste de resistência a flexão;
6. Teste de pintura;
7. Queima das peças cerâmicas;
8. Análise visual das peças cerâmicas.

A avaliação das propriedades tecnológicas (testes de sinterização em diferentes temperaturas, teste do botão de escorrimento, teste de resistência à flexão, teste de pintura e aspectos visuais). Com a escolha da composição foram realizados testes em produtos cerâmicos com três processos de pinturas (imersão, pincel e pistola) seguidamente foi realizado a sinterização a fim de analisar os processos de pinturas com intuito de escolher o processo mais adequado para o vidrado desenvolvido.

4 Resultados e discussão

Para realizar os experimentos os materiais foram misturados em estado de pó para facilitar a homogeneização dos mesmos. Após a escolha e obtenção das garrafas de vidro nas tonalidades (verde, azul e âmbar), foram lavados, secos e triturados no moinho tipo martelo para obtenção do

pó. Os vidros, as rochas sedimentares e a lama vermelha após trituração, foram peneirados na peneira de 200 *mesh* segundo a ABNT e armazenados, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Obtenção do pó dos resíduos utilizados no desenvolvimento dos vidrados cerâmicos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4.1 Composições com diferentes percentuais de resíduo

Foram preparadas as composições de 3g dos fundentes (Branco Brilhante Alcalino e do Fundente Transparente Alcalino) sem a adição de pó de vidro, para servir de base de comparação com composições contendo resíduo de vidro.

Com o Carboximetilcelulose CMC utilizado é feita uma solução com 1 litro de água para uma colher de sopa de CMC em pó. Para a composição foram utilizados 3 g de fundente, 1 colher de chá de água e 1 colher de chá de solução de CMC, onde 1 colher de chá de água é aproximadamente 2,50 g.

Posteriormente foram preparadas as composições com diferentes percentuais dos resíduos. Preparou-se composições de 3 g para cada percentual de pó de vidro adicionado aos fundentes Branco Brilhante Alcalino (BBA) e Fundente Transparente Alcalino (FTA). Foram escolhidos três tipos de vidros, nas tonalidades de âmbar, verde e azul.

Na Tabela 1 a seguir apresentam-se os percentuais das composições gerais dos esmaltes com adição de pó de vidro.

Tabela 1 – Percentuais das composições gerais dos esmaltes com adição de pó de vidro.

Composições (%)	Resíduo (g)	Fundente (g)	Água (Colher de chá)	CMC (Colher de chá)
Comp. 0-0	0	3	1	1
Comp. 1-10	0,3	2,7	1	1
Comp. 2-20	0,6	2,4	1	1
Comp. 3-30	0,9	2,1	1	1
Comp. 4-40	1,2	1,8	1	1
Comp. 5-50	1,5	1,5	1	1
Comp. 6-60	1,8	1,2	1	1
Comp. 7-70	2,1	0,9	1	1

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Devido à variedade de resíduos utilizados nessa pesquisa, fez-se necessário a criação e utilização de um código para facilitar a compreensão das composições, conforme a Tabela 2 abaixo apresentam-se os códigos dos resíduos.

Tabela 2 – Os códigos dos resíduos.

Códigos	Resíduos
V	Vidro verde
A	Vidro azul
Am	Vidro âmbar

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nas Tabelas abaixo encontram-se os códigos das composições dos fundentes sem adição de resíduos (Branco Brilhante Alcalino – BBA e o Fundente Transparente Alcalino - FTA), onde o BA equivale ao fundente BBA e o TA equivale ao fundente FTA ambos com adição de resíduos de vidro nas tonalidades (verde, azul e âmbar).

Tabela 3 – Códigos das composições do BBA/FTA com adição de pó de vidro verde.

Composições de BBA/FTA com adição de pó de vidro verde.				
Códigos	Códigos	Composições (%)	Vidro verde (g)	BBA/FTA (g)
BBA	FTA	Comp. 0-0	0	3
BA10V	TA10V	Comp. 1-10	0,3	2,7
BA20V	TA20V	Comp. 2-20	0,6	2,4
BA30V	TA30V	Comp. 3-30	0,9	2,1
BA40V	TA40V	Comp. 4-40	1,2	1,8
BA50V	TA50V	Comp. 5-50	1,5	1,5
BA60V	TA60V	Comp. 6-60	1,8	1,2
BA70V	TA70V	Comp. 7-70	2,1	0,9

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Tabela 4 – Códigos das composições do BBA/FTA com adição de pó de vidro azul.

Composições de BBA/FTA com adição de pó de vidro azul.				
Códigos	Códigos	Composições (%)	Vidro azul (g)	BBA/FTA (g)
BBA	FTA	Comp. 0-0	0	3
BA10A	TA10A	Comp. 1-10	0,3	2,7
BA20A	TA20A	Comp. 2-20	0,6	2,4
BA30A	TA30A	Comp. 3-30	0,9	2,1
BA40A	TA40A	Comp. 4-40	1,2	1,8
BA50A	TA50A	Comp. 5-50	1,5	1,5
BA60A	TA60A	Comp. 6-60	1,8	1,2
BA70A	TA70A	Comp. 7-70	2,1	0,9

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Tabela 5 – Códigos das composições do BBA/FTA com adição de pó de vidro âmbar.

Composições de BBA/FTA com adição de pó de vidro âmbar.				
Códigos	Códigos	Composições (%)	Vidro âmbar (g)	BBA/FTA (g)
BBA	FTA	Comp. 0-0	0	3
BA10Am	TA10Am	Comp. 1-10	0,3	2,7
BA20Am	TA20Am	Comp. 2-20	0,6	2,4
BA30Am	TA30Am	Comp. 3-30	0,9	2,1
BA40Am	TA40Am	Comp. 4-40	1,2	1,8
BA50Am	TA50Am	Comp. 5-50	1,5	1,5
BA60Am	TA60Am	Comp. 6-60	1,8	1,2

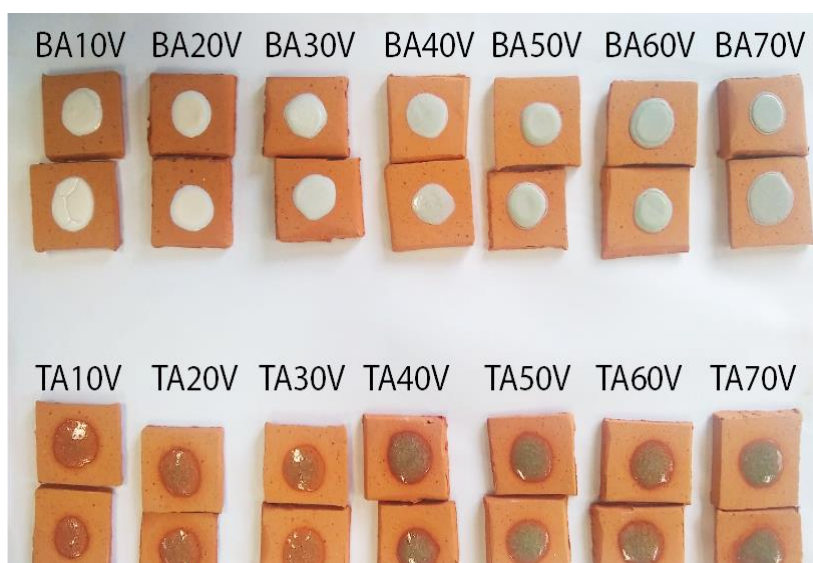
BA70Am	TA70Am	Comp. 7-70	2,1	0,9
--------	--------	------------	-----	-----

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

4.2 Testes de queima em diferentes temperaturas

Com intuito de obter um vidrado a baixa temperatura, todas as composições foram submetidas a sinterização nas temperaturas de 900 e 950 °C para avaliar se a queima é viável. As composições do BA10V a BA70V e do TA10V a TA70V, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro verde foram queimadas nessas duas temperaturas. A Figura 2 apresenta os vidrados com pó de vidro verde queimados a temperatura de 900 °C.

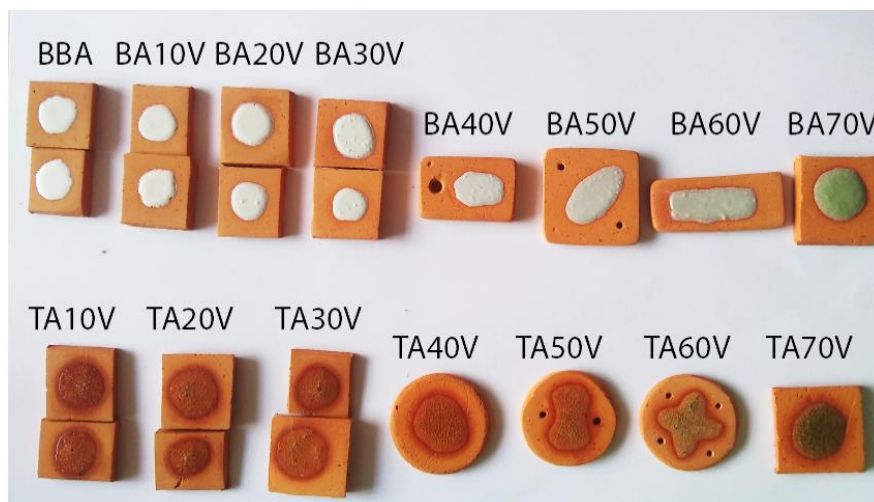
Figura 2 – Vidrados com pó de vidro verde queimados a temperatura de 900 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os próximos experimentos foram as mesmas composições do vidrado nas formulações de BA10V a BA70V e do TA10V a TA70V, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro verde, submetidas à temperatura de 950 °C, conforme a Figura 3.

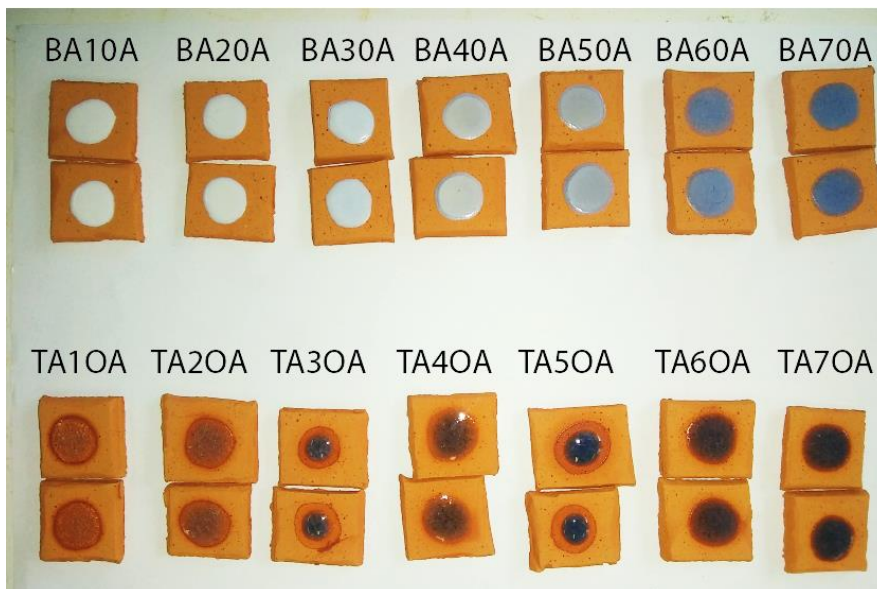
Figura 3 – Vidrados com pó de vidro verde queimados a temperatura de 950 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os experimentos seguintes foram realizados com os vidrados nas composições BA10A a BA70A e do TA10A a TA70A, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro azul, submetidas a temperatura de 900 °C, conforme a Figura 4.

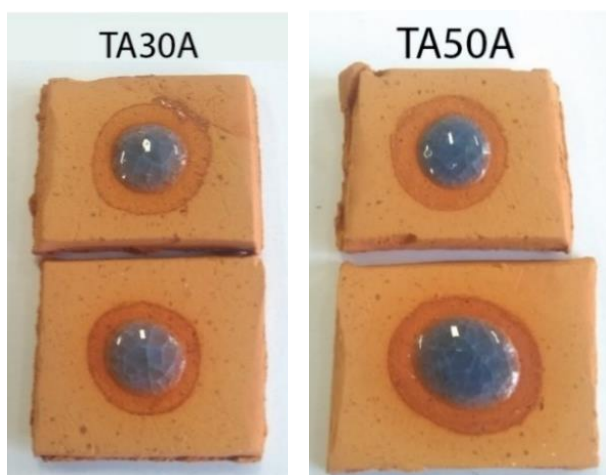
Figura 4 – Vidrados com pó de vidro azul queimados a temperatura de 900 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Todas as composições com pó de vidro azul vitrificaram, revelando resultados satisfatórios para estas composições. No entanto, na TA30A e TA50A, houve uma retração do vidrado em relação ao desenho feito na pastilha cerâmica, conforme Figura 5.

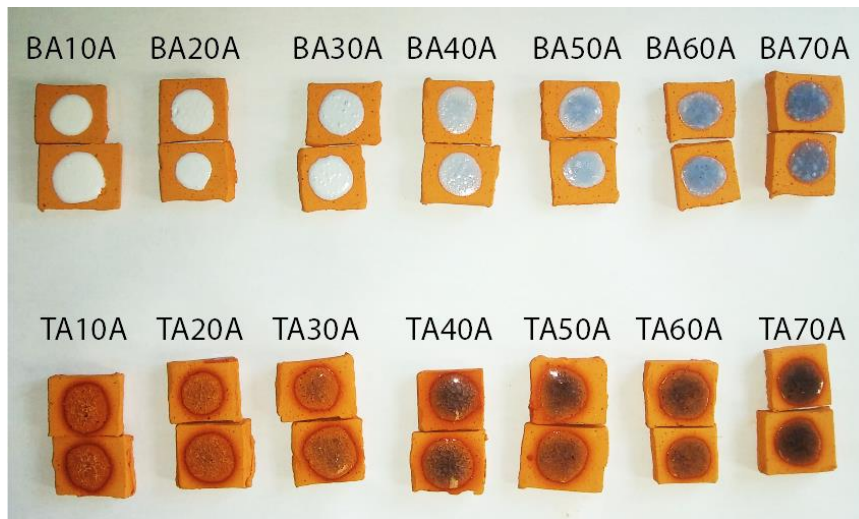
Figura 5 – Retração dos vidrados das composições TA30A e TA50A queimados a temperatura de 900 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Em seguida os vidrados com as composições do BA10A a BA70A e do FA10A a FA70A, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro azul, submetidas a temperatura de 950 °C, conforme Figura 6.

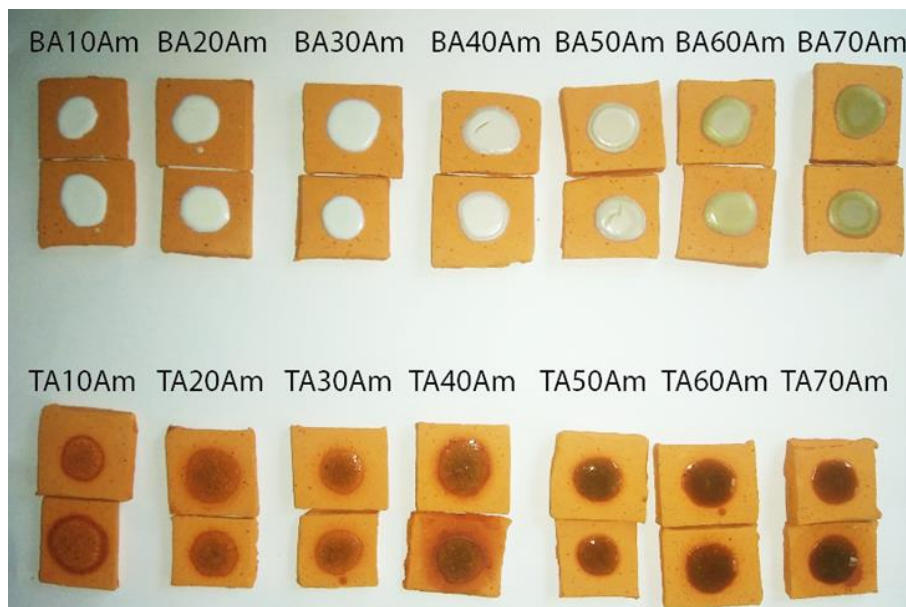
Figura 6 – Vidrados com pó de vidro azul queimados a temperatura de 950 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os vidrados com as composições do BA10Am a BA70Am e do TA10Am a TA70Am, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro âmbar, que foram submetidas a temperatura de 900 °C, conforme Figura 7.

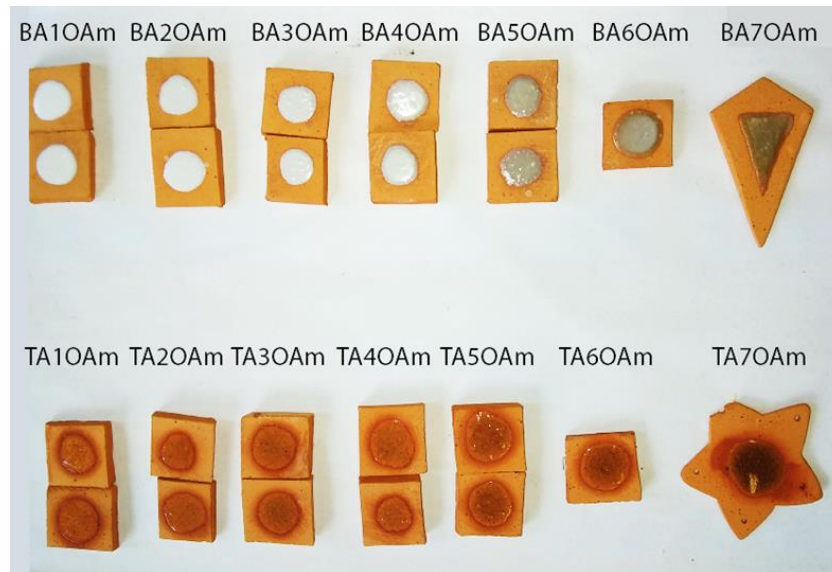
Figura 7– Vidrados com pó de vidro âmbar queimados a temperatura de 900 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os vidrados com as composições BA10Am a BA70Am e do TA10Am a TA70Am, com variações de 10 a 70 % de pó de vidro âmbar, foram submetidas a temperatura de 950 °C, conforme a Figura

Figura 8 – Vidrados com pó de vidro âmbar queimados a temperatura de 950 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

De modo geral os resultados mostraram que, os testes da queima em temperaturas diferentes foram muito importantes para saber os efeitos e diferenças de tonalidades de cores. Pode-se confirmar que a utilização de resíduos de pó de vidro nesses fundentes, amplia a possibilidade de cores dos vidrados, as composições podem ser submetidas as temperaturas de 900 °C e 950 °C, e que na temperatura de 900 °C a cor do vidrado fica mais intensa, o que indica que seu uso nessa temperatura potencializa economia de energia elétrica.

4.3 Testes do botão de escurimento

O teste de botão de escurimento foi realizado em duas placas cerâmicas e submetidos a temperaturas de 900 e 950 °C, conforme a Figura 9 e 10.

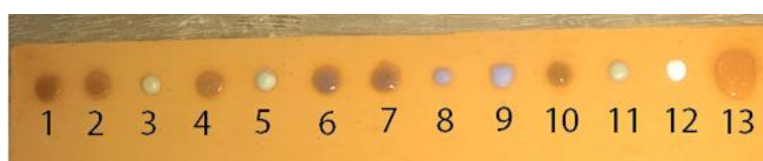
Para as amostras queimadas na temperatura de 900 °C, foi realizada uma avaliação visual a fim de identificar os possíveis esmaltes que escorreram, para se fazer uma comparação entre as temperaturas.

Figura 9 – Resultado do botão de escurimento na temperatura de 900 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Figura 10– Resultado do botão de escurimento na temperatura de 950 °C.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Os resultados do BBA e FTA com a numeração e a composição submetidas ao teste de escorrimento nas temperaturas de 900 e 950 °C, conforme Tabela 6.


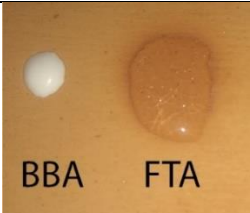
Tabela 6 – Numeração e composições do BBA/FTA submetidas ao teste de escorrimento.

Número	Composição	Número	Composição
1	TA70Am	8	BA60A
2	TA60Am	9	BA70A
3	BA50Am	10	TA70V
4	TA60V	11	BA70V
5	BA60V	12	BBA
6	TA60A	13	FTA
7	TA70A		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

No Quadro 4 compara os resultados do BBA e FTA submetidas ao teste de escorrimento nas temperaturas de 900 e 950 °C.

Quadro 3: Comparação do BBA e FTA nas temperaturas de 900 e 950 °C.

Temperatura de 900 °C	Temperatura de 950 °C	Observações
		<p>A queima na temperatura de 950 °C as composições com o fundente FTA apresentaram menor viscosidade (escorreram mais). Quanto as composições do BBA tiveram um resultado satisfatório indicando o seu uso em ambas temperaturas.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Com o teste de botão de escorrimento concluímos que, as composições com o fundente FTA são recomendadas que sejam queimadas em temperaturas mais baixas, ou seja, na temperatura de 900 °C, pois a queima na temperatura de 950 °C todas as composições com o fundente FTA apresentaram menor viscosidade (escorreram mais), e que o uso dos resíduos contribui para aumentar a viscosidade (escorrer menos). Quanto as composições do BBA tiveram um resultado satisfatório indicando o seu uso em ambas temperaturas.

4.4 Teste de resistência à flexão

Os materiais que foram submetidos ao teste de flexão são agora apresentados, juntamente com seus respectivos resultados, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Materiais submetidos ao teste de flexão.

Materiais	Temperatura de queima °C	RF (MPa)	εf (%)
S.E	900	11,22	1,45
S.E	950	10,8	0,43
BBA	900	6,10	1,75
BBA	950	3,76	0,43

BA70Am	900	6,87	1,76
BA70Am	950	7,20	0,96
FTA	900	5,09	1,14
FTA	950	7,02	1,01
TA70V	900	6,78	1,36
TA70V	950	7,21	0,83
TA70A	900	7,49	0,98
TA70A	950	6,40	0,90
TA70Am	900	5,06	1,12
TA70Am	950	7,45	0,82

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Em média o comportamento dos materiais submetidos ao teste de resistência a flexão foi próximo. Os materiais SE (sem esmalte) apresentaram-se mais resistentes do que os com esmaltes, pois as peças vitrificadas que contêm os resíduos de vidro, tendem a ter uma resistência menor devido o vidro ter comportamento frágil. As composições BBA submetidas a queima em diferentes temperaturas, mostrou-se mais resistente na temperatura de 900 °C do que na temperatura de 950 °C. Enquanto as composições FTA, o resultado foi oposto, os esmaltes mostraram-se mais resistente na temperatura de 950 °C do que na de 900 °C, no entanto o teste do botão de escorrimto, mostrou que este esmalte é recomendado na temperatura de 900 °C porque escorre menos.

Os vidrados que apresentaram uma resistência mais próxima dos SE são o TA70A a 900 °C; TA70Am a 950 °C; TA70V a 950 °C; BA70Am a 950 °C; FTA a 950 °C; BA70Am a 900 °C; TA70A a 950 °C; BBA a 900 °C e BA70A20L a 900 °C. Percebe-se que a maioria dos esmaltes que apresentaram resistência foram na temperatura de 950 °C, pois quanto mais elevada a temperatura mais resistentes são os vidrados. Contudo, o esmalte que mais chegou perto dos dados do SE foi a composição TA70A a 900 °C.

4.5 Teste de pintura

As peças foram pintadas com diferentes técnicas (pincel, pistola e imersão) com as composições escolhidas de acordo com os resultados do teste de escorrimto e o teste de resistência a flexão e queimados a temperatura de 900 °C. Os resultados dos testes de pintura, queima e análises são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Testes e análises de técnicas de pintura e da queima.

Testes e análises de técnicas de pintura e da queima		
Técnicas de pintura	Produtos queimados à 900 °C/Composição	Análise da pintura e da queima
<p>Pistola</p> 	<p>Peças vitrificadas</p>  <p>Vaso/carranca: TA70Am</p>	<p>A técnica com pistola apresentou alguns problemas, a cerâmica não absorvia de modo satisfatório a água da composição para formar uma camada de espessura adequada, essa técnica também se gasta mais material.</p> <p>As composições apresentaram um resultado bom em relação ao brilho, a cor não uniforme. Ambas as peças são orgânicas, na carranca a cor se intensificou nas cavidades da peça.</p>
<p>Imersão</p> 	<p>Peças vitrificadas</p>  <p>Carranca/saboneteira/Pingente folha: TA70V</p>	<p>A técnica de pintura por imersão apresentou alguns problemas, a cerâmica não absorvia de modo satisfatório a água da composição formando uma camada de espessura adequada, as peças orgânicas são mais difíceis a pintura, essa técnica também se gasta mais material.</p> <p>As composições apresentaram um resultado bom em relação ao brilho, a cor não uniforme. Ambas as peças são orgânicas, na carranca a cor se intensificou nas cavidades da peça.</p>
<p>Pincel</p> 	<p>Peças vitrificadas</p>  <p>Revestimento: foi utilizado no centro o TA70A, nas extremidades o BA70A;</p>	<p>A técnica de pincel foi fácil de ser aplicada, a composição aderiu bem ao material cerâmico plano, formou-se uma boa espessura da tinta, não houve problemas com a delimitação com o lápis e a outra composição.</p> <p>As composições apresentaram um bom resultado, apresentando uniformidade e cor intensa, boa cobertura e brilho.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

5 Considerações finais

Os resultados mostraram que as composições desenvolvidas com os resíduos (vidros, rocha e lama vermelha) em diferentes percentuais com os fundentes Banco Brilhante alcalino e Fundente Transparente Alcalino são aptas para o desenvolvimento de vidrados e queimados no forno elétrico nas temperaturas de 900 e 950 °C. Nesta pesquisa foram desenvolvidos 36 vidrados/esmaltes com os resíduos acima mencionados.

O teste em diferentes temperaturas mostrou que os vidrados apresentam variação de cores, brilho e textura. Constatou-se também que na temperatura de 900 °C as cores dos vidrados mostram-se mais intensas do que na temperatura de 950 °C, indicando o seu uso em temperaturas baixas.

Em relação ao teste de botão de escurimento identificou-se que o uso dos resíduos auxilia no aumento da viscosidade desse fundente. Na avaliação do teste de resistência a flexão, os materiais SE (sem esmalte) apresentaram-se mais resistentes do que as composições com esmaltes, visto que o vidro tem um comportamento frágil, pois é uma característica da sua natureza. A pintura com pincel apresentou o melhor resultado e não revelou problemas em sua aplicação.

Além de contribuir para o meio ambiente com a utilização desses resíduos no desenvolvimento de vidrados, com esta pesquisa os ceramistas economizarão tanto nos materiais dos vidrados utilizando os resíduos de vidro colorido quanto na economia de energia utilizada no forno para vitrificação das peças cerâmicas.

6 Referências

ABNT. NBR 10004: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materials and design: the art and science of material selection in product design**. Amsterdam: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2011, p.3,9, 71.

CALEGAR, E. P; OLIVEIRA, B.F. de. Um estudo focado na relação entre design e materiais. **Revista projetica**, Londrina, V.4, nº1, p. 49-64, Jan/Jun. 2013. Páginas 55. Disponível em: <www.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/download/14348/13418> Acesso em 27 de Junho de 2020.

LIMA, Marco Antonio Magalhães. **Introdução aos Materiais e Processos para Designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006, p.130.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002, p.23.

MANZINI, Ezio. **Design para a Inovação Social e Sustentabilidade – Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E- papers, 2008.

MOMBACH V.L.; RIELLA H.G.; KUHNEN N.C.; CARVALHO E.F.U. **Produção de fritas cerâmicas a partir do vidro de lâmpadas fluorescentes**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/cbecimat/12543.pdf>>. Acesso em 15 de agosto de 2023.

PELTIER, Fabrice; SAPORTA, Henri. **Design sustentável: caminhos virtuosos**. Tradução [Marcelo Gomes]. - São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2009, p.54.

PRADO U.S.; SILVA L.L.; MARTINELLI J.R.; BRESSIANI J.C. **Obtenção de fritas utilizando resíduos Industriais: uso de resíduo perigoso da Indústria de Alumínio – “SPL”**. Cerâmica Industrial, vol. 13 (6) Novembro/Dezembro, 2008, 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2008/13917.pdf>> Acesso em 9 dez. 2021.

SÁNCHEZ, E. **Matérias primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos**. Cerâmica Industrial. vol. 2, nº 3-4 (1997). Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n34/v2n34_5.pdf>. Acesso em 16 dez. 2021, p.32.