



II CONPESQ Congresso de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Os novos rumos da ciência pós-pandemia

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

Alternativas sustentáveis para o resíduo de vidro na produção de revestimento cerâmico – PARTE III

TORQUATO, J. V. M.¹

SILVA, B. S.²

GOMES, L. K. M.³

NEIVA, L.S.⁴

BRASILEIRO, M. I.⁵

RESUMO: O aumento de resíduos vítreos gerados por indústrias locais vem se intensificando nos últimos anos devido ao crescente interesse na produção de embalagens. Por outro lado, há também uma progressiva taxa de produção em revestimento cerâmico esmaltado que é baseado em vidros, dos quais utiliza de fritas cerâmicas na produção. Os objetivos delineados para o projeto basearam-se na incorporação de resíduo vítreo nas três camadas do revestimento cerâmico, com teores diferentes, para avaliar as propriedades físico-mecânicas do produto. Três matérias-primas foram utilizadas para a produção das placas de revestimento: argila caulínica, resíduo vítreo e resíduo de alumina. Foram analisadas duas formulações de suporte: 1 e 2, com teores diferentes de resíduo vítreo, seguindo de conformação e queima. Logo depois, aplicação de engobe e aplicação do vidrado e queima a temperaturas iguais. Após os resultados, pôde-se considerar a viabilidade do uso do resíduo de vidro para produção de placas de revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; Resíduos Sólidos; Revestimento Cerâmico; Vidrado.

1 Graduando em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Cariri UFCA, jonathanvincius88@gmail.com.

2 Graduando em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Cariri UFCA, bruno.pgm2013@gmail.com.

3 Graduada em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Cariri UFCA, larissa.maia@ufca.edu.br

4 Professora, Doutora, UFCA, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. laedna.neiva@ufca.edu.br

5 Professora, Doutora, UFCA, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. isabel.rodrigues@ufca.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos tem aumentado consideravelmente com o passar dos anos. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) registrou, entre 2010 e 2019, um incremento de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Diante desse cenário, percebe-se um interesse das indústrias em buscar meios e soluções comprometidas com a questão ambiental e dentro de uma visão sustentável.

O reaproveitamento de resíduos sólidos vem aumentando e se consolidando como uma prática importante, que ajuda a atenuar o impacto ambiental gerado por vários setores industriais e reduzindo custos. A indústria de cerâmica vermelha e revestimentos é um dos setores da indústria cerâmica que vem utilizando como uma alternativa viável a incorporação de resíduos como forma de minimizar os impactos ao meio ambiente. (JUNIOR; NETO; OLIVEIRA, 2020, p.72546). Em adição, benefícios podem ser gerados quando há incorporação de determinados resíduos.

A ISO 13006 de 2012, define placa cerâmica para revestimento, como um material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo geralmente conformada por extrusão ou por prensagem à temperatura ambiente, mas, podem também ser conformadas por outros processos, sendo então secas e queimadas, podendo ou não ter acabamento esmaltado. O Brasil é um dos maiores produtores, exportadores e consumidores de revestimentos cerâmicos do mundo. (OLIVEIRA e HOTZA, 2015, p.14).

Segundo Baucia Jr. et al. (2010), na fabricação de revestimentos cerâmicos em geral, não existe uma única matéria-prima natural que venha a apresentar todas as características necessárias para que ocorra uma boa formulação. Portanto, se faz necessária a utilização de uma mistura de matérias-primas para se obter as características desejadas.

Considerado um material cerâmico antigo, não biodegradável e não absorvido pela natureza após seu descarte (FARIA, 2015, p.1), o vidro é, em princípio, totalmente reaproveitável, o que justifica os inúmeros estudos sobre a incorporação de resíduos de vidro em produtos diversos (CAVALCANTI et al., 2010). Segundo a ABIVIDRO (2019), a reutilização do vidro consome menor quantidade de energia e emite resíduos menos particulados de CO₂, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Outro aspecto é o menor descarte de lixo, reduzindo os custos de coleta urbana, e aumentando a vida útil dos aterros sanitários.

Na cerâmica empregada como revestimento, os materiais vítreos estão presentes nos esmaltes ou vidrados usados para impermeabilizar os substratos cerâmicos. (OLIVEIRA e

HOTZA, 2015, p.16). Segundo Zaccaron et al. (2016), 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.

Neste contexto, o presente trabalho propõe avaliar o desenvolvimento e caracterização de revestimento cerâmico incorporado com resíduo de vidro e alumina, com ênfase especial sobre as propriedades mecânicas, tendo como objetivo principal avaliar a sustentabilidade de resíduos de vidros como principal matéria-prima para aplicação em vidrados de revestimentos cerâmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Utilizou-se no presente trabalho uma argila de queima branca, obtida na forma de torrões e fornecida pela empresa Cerâmica Gomes de Mattos, localizada em Crato – CE. Os torrões passaram por um processo de moagem através de um moinho martelo Servitech CT-058. A argila foi peneirada em peneira ABNT nº 200 para que pudesse ser feita sua caracterização e aplicação na produção dos suportes.

Resíduos de vidro empregados em ampolas foram utilizados, sendo estes disponibilizados, sem contaminações, por uma indústria farmacêutica da região do Cariri-CE. Os resíduos vítreos passaram por uma etapa de cominuição através de um moinho de bolas Servitech CT-240/B e peneirados em peneira ABNT nº 200.

Outro material empregado foi o resíduo de alumina, oriundo de um forno elétrico quebrado, onde por meio da análise química, percebeu-se a viabilidade de sua utilização como reforço para o vidrado. Este resíduo seco foi moído em almofariz e peneirado a ABNT nº 200.

O carboximetilcelulose (CMC) também é utilizado como um agente ligante na formulação do engobe e do vidrado cerâmico.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Suporte

Após o beneficiamento inicial, foram formuladas duas composições de suporte cerâmico, com o intuito de ser analisado o efeito desta adição. Na Tabela 01 abaixo pode-se observar as duas formulações estudadas:

Tabela 01 - Formulações utilizadas para os suportes.

Matérias-primas	Formulações	
	Suporte 01	Suporte 02
Argila	100%	95%
Resíduo Vítreo	-	5%

Fonte: Autoria Própria

No Laboratório de Materiais Cerâmicos, da UFCA, cada formulação foi umidificada com 7%, em peso, de água, sendo homogeneizadas em uma peneira ABNT nº 30 e reservadas, separadamente, em um saco plástico por 24 horas, para que se obtenha uma melhor uniformidade na distribuição da umidade da massa cerâmica.

Na etapa de conformação dos suportes, foi utilizado o método de prensagem uniaxial, com o auxílio de uma prensa hidráulica manual e através de uma matriz metálica de base retangular com dimensões de 80 mm x 25 mm. Para cada composição de corpo de prova, utilizou-se uma massa de 25g de mistura, devidamente pesada com o auxílio de uma balança analítica da marca Shimadzu. Na prensagem, submeteu-se uma carga máxima de 4 toneladas para cada suporte, com a aplicação gradual da carga e manutenção na carga máxima por um minuto.

Os corpos de prova foram secados, em uma estufa Ethick 208D, a 100°C por 24 horas. Prontamente, com o auxílio de um paquímetro digital e uma balança analítica, foram obtidos os valores do comprimento, largura, espessura e peso das amostras.

O processo de queima ocorreu em um forno elétrico, onde os corpos de prova das duas formulações foram queimados a 1100°C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min e um patamar de queima por 30 minutos. Ao fim dessa etapa, os corpos de prova foram pesados em uma balança analítica e dimensionados com um paquímetro digital.

2.2.2. Engobe

Os engobes cerâmicos são camadas intermediárias entre o suporte e o esmalte. A formulação utilizada neste trabalho, em peso, foi de 50% de água, 22% de argila, 26,4% de resíduo de vidro e 1,2% de carboximetilcelulose. A mistura foi homogeneizada em um misturador e aplicada sobre os corpos de prova.

2.2.3. Vidrado

Foram formuladas duas composições de vidrados cerâmicos, ocorrendo a incorporação de alumina em um deles para que assim pudesse ser analisado o efeito dessa adição sobre o vidrado, sendo apresentadas as duas formulações na Tabela 02 abaixo:

Tabela 02 - Formulações utilizadas para os vidrados.

Matérias-primas	Formulações	
	Vidrado 01	Vidrado 02
Água	39,5%	35%
Resíduo Vítreo	60%	60%
CMC	0,5%	-
Resíduo de alumina	-	5%

Fonte: Autoria Própria

As composições de vidrado apresentadas foram homogeneizadas em um misturador, e após a queima dos suportes cerâmicos e a sobreposição do engobe nos mesmos. Fez-se a aplicação do vidrado 01 nos suportes de composição 01, denominou-se estes corpos de prova como “SV1”. Em seguida, fez-se o mesmo processo, aplicando o vidrado 02, com alumina, nos suportes de composição 02, sendo identificados como “SV2”.

Realizou-se uma segunda etapa de queima, à temperatura de 1100°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min e um patamar de queima de 30 minutos. Ao fim dessa etapa, os corpos de prova foram devidamente dimensionados com o auxílio de um paquímetro digital e pesados em uma balança analítica.

2.3. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

Para determinar as propriedades físico-mecânicas dos suportes cerâmicos em estudo, os corpos-de-prova foram ensaiados considerando a norma NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento de acordo com os anexos B e C, quanto à retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à flexão.

2.3.1. Retração Linear de Queima

Através dos valores dos comprimentos dos corpos de prova antes e após a biqueima, determinou-se o valor, em percentual, da retração linear. O resultado da RL_q (%) foi obtido através da média aritmética de 15 valores para cada formulação de vidrado.

2.3.2. Absorção de água

Este ensaio ocorreu conforme o anexo B da norma ABNT NBR 13818:1997. Após a etapa de queima dos corpos de prova e seu resfriamento, estes foram pesados em uma balança analítica, obtendo o valor da massa do corpo de prova queimado (M_q).

Prontamente, os corpos de prova foram submergidos em água destilada, contida em um recipiente, por vinte e quatro horas. Ao fim desse tempo, as amostras foram retiradas do recipiente, removeu-se o excesso de água e foram pesados para se obter a massa do corpo de prova úmido (M_u). Com os dados obtidos, pôde-se calcular a absorção de água, dada em percentual.

2.3.3. Porosidade Aparente

Para a obtenção da porosidade aparente utilizou-se um béquer contendo água destilada, acoplado de forma manual a uma balança analítica, atentando-se em tarar o valor da sua massa. Para a pesagem, os corpos de prova foram imersos neste recipiente com água, obtendo a massa do corpo-de-prova imerso (M_i), em gramas.

Determinou-se o valor da porosidade aparente (PA), com o seu valor expresso em porcentagem, onde a massa dos corpos de prova queimados (M_q) e úmidos (M_u) são as mesmas obtidas para o ensaio de absorção de água.

2.3.4. Resistência Mecânica à Flexão

No intuito de se obter a resistência mecânica à flexão dos corpos de prova, utilizou-se uma máquina flexora máquina flexora da marca Gabbrielli, modelo Flexi 1000 LX-650, e seguindo os anexos B e C da norma NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento. Este, assim como os demais ensaios, foi realizado no Laboratório de Materiais Cerâmicos, do Curso de Engenharia de Materiais – UFCA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

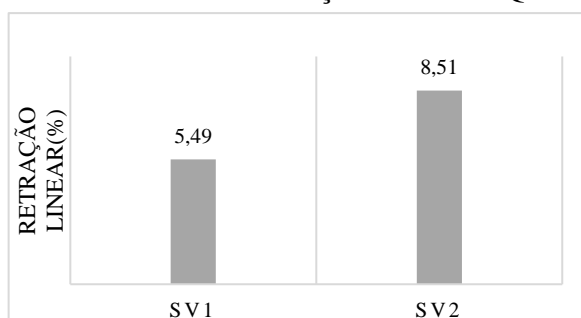
Inicialmente, sabe-se que há uma interação convergente entre as matérias-primas devido ao silicato presente em alta concentração em ambas, bem como sua forma tetraédrica que ocorre tanto no silicato cristalino (argila caulínica) quanto no resíduo vítreo, porém esse último de forma desordenada e contendo modificadores de rede, que diminuem a sua temperatura de fusão.

A temperatura de queima de 1100° C, foi suficiente para fornecer energia necessária para que o resíduo vítreo se difunda dentro da estrutura da argila.

3.1. RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA (RL_q)

A retração linear e a absorção de água estão relacionadas ao nível de sinterização da estrutura. A Figura 1 mostra o comportamento da retração linear das formulações trabalhadas:

Figura 1 – Gráfico em coluna da Retração Linear de Queima das amostras



Fonte: Autoria Própria

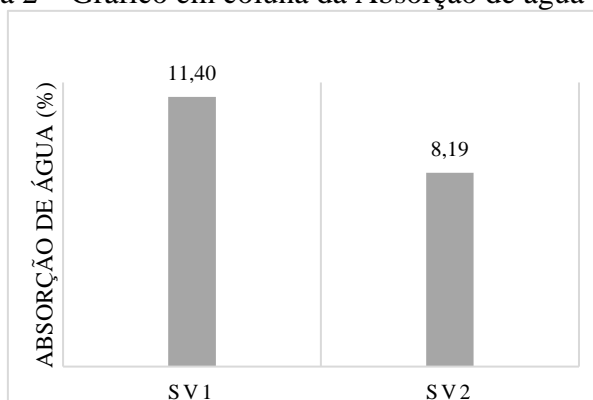
Pode-se perceber que a formulação SV2 apresentou uma retração linear superior à formulação SV1. Esse fato se deve a presença do resíduo de vidro na composição desse suporte. Neste caso, a viscosidade da fase líquida é reduzida com o aumento da temperatura, facilitando com que os espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram sejam preenchidos, resultando na diminuição do volume de poros e um aumento na retração da peça.

3.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

A porosidade dos materiais cerâmicos pode ser representada por alguns parâmetros como a absorção de água que ocorre quando o corpo cerâmico absorve através da capilaridade um nível máximo de água.

Os valores obtidos de absorção de água são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico em coluna da Absorção de água das amostras



Fonte: Autoria Própria

Com base no resultado da Figura 2 supracitada, podemos notar que a formulação SV2 apresentou uma absorção de água inferior a formulação SV1, isso pode ser justificado pela presença de resíduo de vidro na composição desse suporte, que age como fundente desse resíduo, que forma fase líquida e uma consequente densificação da peça. Esse resultado é corroborado pelo resultado da Figura 1.

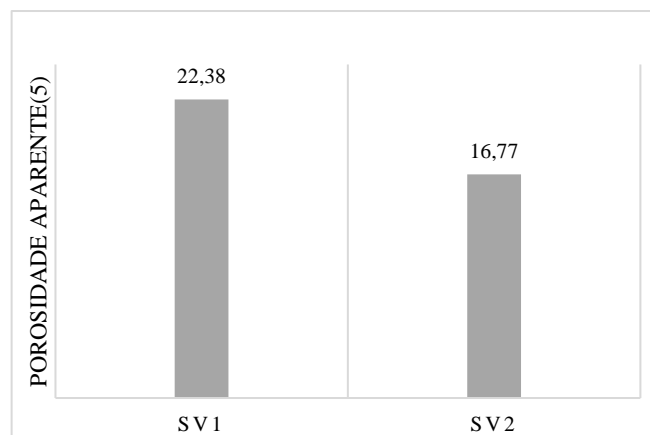
3.3. POROSIDADE APARENTE (PA)

A absorção de água é a propriedade que representa a percentagem em peso de água absorvida pelo corpo de prova após sinterização.

Muitas cerâmicas não são totalmente densas. Porosidade de até 20% são um aspecto muito comum da microestrutura. Os poros enfraquecem o material [...]. As trincas são mais prejudiciais; são muito mais difíceis de ver, não obstante estão presentes na maioria das cerâmicas deixadas por processamento ou nucleadas por diferenças em expansão térmica. (ASHBY E JONES, 2007, p.189)

A Figura 3 abaixo apresenta a porosidade aparente das formulações estudadas.

Figura 3 – Gráfico em coluna da porosidade aparente das amostras



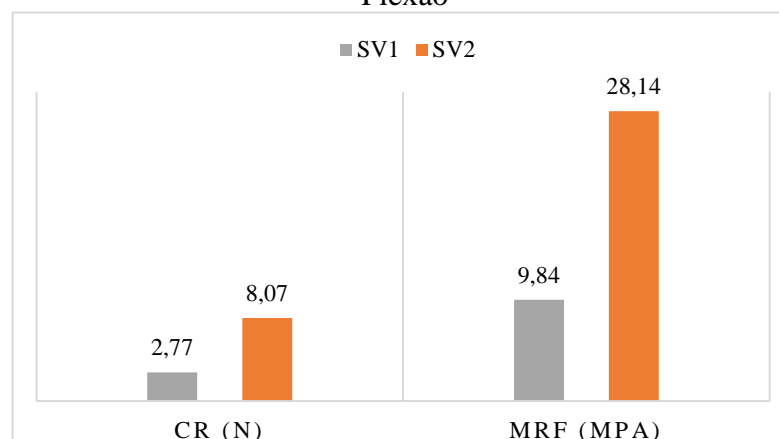
Fonte: Autoria Própria

Com base nos dados da Figura 3, pôde-se perceber que a formulação SV2 apresentou uma porosidade aparente inferior a primeira composição de suporte. Esse fato recebe a mesma justificativa apresentada para os fenômenos de retração linear e absorção de água. O material vítreo fundido preenche os espaços vazios presentes no suporte, reduzindo o seu valor de porosidade. Tal resultado corrobora com os dados das Figuras 1 e 2 apresentadas anteriormente.

3.4. RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO

Nos materiais cerâmicos a tensão de ruptura à flexão é proporcional aos defeitos existentes que ocorrem durante o processo de produção dos materiais. Os valores da carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão das amostras estão presentes na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico em colunas da Tensão de Ruptura à Flexão e Módulo de Resistência à Flexão



Fonte: Autoria Própria

Com base no resultado do ensaio de flexão, percebe-se a discrepância entre as duas formulações, onde as amostras SV2 demonstraram uma maior resistência comparada a formulação SV1.

A ocorrência desse fato se deve, provavelmente, a adição do resíduo de vidro no suporte da amostra SV2, que além de ter melhorado as propriedades físicas do produto como um todo, influenciou no aumento da resistência mecânica. Além de que, para essa composição foi adicionado resíduo de alumina, o que pode ter beneficiado essa propriedade. De acordo com Melchiades et al (1996, p.30) é durante o resfriamento que o material líquido se transforma em um vidro, ligando as partículas mais refratárias e, assim, elevando significativamente a resistência mecânica do material compactado.

Nesse estudo, o resultado obtido com relação a absorção de água e o módulo de resistência mecânica para a formulação SV2 foi, respectivamente, 8,19% e 28,14 MPa. Segundo a norma NBR 13818/1997, esse produto cerâmico é classificado como componente do grupo BIIb, ou seja, um revestimento semi-poroso que apresenta alta absorção de umidade e uma resistência mecânica baixa, sendo recomendado para serem utilizados como revestimento de parede.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos desenvolvidos nesse trabalho, nota-se uma melhora com o uso de resíduos, tanto de vidro como de alumina, e que os resultados obtidos têm ligações entre si, caracterizados quando se compara a densificação do material e a quantidade de resíduo na composição.

A amostra denominada por SV2, na temperatura de 1100°C, obteve o melhor desempenho para a fabricação de placas cerâmicas para revestimentos, obtendo bons valores

de retração linear, absorção de água, porosidade aparente e módulo de resistência à flexão. Podendo ter seus resultados justificados, provavelmente, pela presença tanto do resíduo de vidro no suporte, quanto a presença do resíduo de alumina no vidrado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal do Cariri – UFCA pela concessão das Bolsas de iniciação à Pesquisa que possibilitou a realização desse estudo. Além de agradecer também a Universidade Federal do Cariri – UFCA pelos recursos infraestruturais, indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABIVIDRO, **Benefícios da reciclagem do vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/beneficios-da-reciclagem-do-vidro>>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H. **Engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2019/2020**. São Paulo: ABRELPE, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: **Placas cerâmicas para revestimento** – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- BAUCIA JR., J. A. et al. **Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato**. Cerâmica, São Paulo, v. 56, n. 339, p. 262-272, July 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132010000300009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- CALLISTER JR. W.D.; RETHWISH, D.G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 9 a Ed., Rio de Janeiro, RJ: LTC Editora, 2016.
- CAVALCANTI, M. S. L. et al. **Caracterização de matérias-primas visando a obtenção de massas para cerâmica branca, utilizando resíduos de vidro plano**. [S.l: s.n.], [S.d.] Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105357.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012, ISO 13006, **Ceramic tiles** - Definitions, classification, characteristics and marking. Disponível em <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51063>. Acesso em: 20 de fev. de 2021.
- JUNIOR, P. F. da S.; NETO, B. B. P.; OLIVEIRA, M. A. B. de. **Cerâmica vermelha incorporada com resíduo de pedras ornamentais tratada termicamente**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 9, p.72545-72561, sep. 2020. Disponível em:

<<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/17376/14111>>.
Acesso em: 20 fev. 2021.

MELCHIADES F. G.; QUINTEIRO E.; BOSCHI A. O. **A curva de gresificação:** Parte I. *Cerâmica Industrial* 1: 30–31, 1996. Acesso em: 19 fev. 2021.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos.** 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 2015. 120 p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/187929/Tecnologia%20de%20fabrica%20cer%20amicos%20e-book.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 fev. 2021.

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 valoração 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. Disponível em: <<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/79/66>>. Acesso em: 21 fev. 2021.