

CARACTERIZAÇÃO DE VIDRO DE EMBALAGENS PARA INCORPORAÇÃO EM CERÂMICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.III-007>

Geovana Carla Girondi Delaqua*, Carlos Maurício Fontes Vieira

*Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF / CCT / LAMAV – Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro/Brasil – geovanagirondi@gmail.com

RESUMO

Os resíduos de componentes industrializados, regularmente descartados pela sociedade, estão contribuindo cada vez mais para a poluição ambiental, e um deles, é o vidro de embalagem pós-consumo. Muitas formas estão sendo estudadas para a reutilização deste resíduo, e uma possível solução é a de ser incorporação em produtos de cerâmica vermelha, que além de retirar grande quantidade de vidro descartado de forma incorreta, contribui para melhoria das peças. Desta forma, este trabalho teve por objetivo caracterizar resíduo de vidro de embalagens para possível utilização em produtos de cerâmica vermelha. As matérias-primas foram caracterizadas por meio das análises química, física, mineralógica, térmica e morfológicas. Com os resultados obtidos foi possível concluir que a incorporação de resíduo de vidro uma alternativa viável e tecnicamente vantajosa para a reciclagem desse tipo de resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Vidro; Caracterização; Resíduo; Cerâmica

INTRODUÇÃO

O mercado da reciclagem vem crescendo, pois praticamente todo tipo de processo gera resíduo, consequentemente novas estratégias de tratamento, incorporação e inertização são necessárias (Balaton et al., 2002). Em 2010, no Brasil, foi criada a Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que são diretrizes relacionadas à gestão, bem como a responsabilidade na destinação adequada dos resíduos, dos diversos setores da sociedade. Aterros, embora apresentem uma concepção ambiental correta, não resolvem a questão, sendo a opção menos favorável na pirâmide de priorização do gerenciamento de resíduos sólidos (Lei 12.305/2010).

O vidro é um material 100% reciclável, que pode ser reutilizado infinitas vezes sem mudar sua composição inicial, ou também aplicado em outros materiais. Segundo o Compromisso Empresarial Para Reciclagem – CEMPRE (2019), o Brasil produz em média 1,3 milhões de toneladas de embalagens de vidro por ano, utilizando cerca de 40% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. A reutilização de embalagens pode contribuir diretamente para a preservação do meio ambiente, pois além de consumir menos matéria-prima e energia, evita a emissão de CO₂. A sucata de vidro, após ser limpa e selecionada, é usada para auxiliar a fusão nos fornos, pois diminuem o consumo energético, aumentam a capacidade de extração, e também aumentam a vida útil dos fornos (ABIVIDRO, 2019).

Mesmo sendo totalmente reaproveitada no processo produtivo de novos produtos, segundo dados da Associação Técnica Brasileira das Indústrias automáticas de vidro – ABIVIDRO, ainda é baixo a reciclagem de vidro, isto devido ao alto custo do transporte e da coleta. Outro grande problema é a falta de gestão adequada, o que faz com que grande quantidade deste produto seja descartado incorretamente em aterros sanitários, sendo muito prejudicial ao ambiente, principalmente por não ser biodegradável. Desta forma, a reutilização deste tipo de resíduo como matéria-prima é uma alternativa para as indústrias (BRASIL, 2010).

Diante do exposto, é fundamental encontrar formas de reaproveitamento deste resíduo, e uma alternativa seria a incorporação na indústria cerâmica. Devido as características das argilas, a incorporação de resíduos de atividades industriais em produtos cerâmicos, além de reduzir impactos ambientais gerados pela utilização de recursos naturais (Vieira & Monteiro, 2009), pode ter um reaproveitamento de resíduos como matéria-prima, proporcionando melhorias nas propriedades das peças.

Alguns resíduos incorporados em cerâmicas atuam de modo a introduzir elementos não plásticos, ou inertes ao material, enquanto outros atuam na redução do gasto energético da etapa de queima, que pode ser pelo fornecimento de energia (reações exotérmicas) (Vieira & Monteiro, 2009), ou através da redução de temperatura de queima de materiais cerâmicos. A incorporação de resíduo de vidro em produtos à base de argila é uma alternativa considerada muito viável, isto devido à compatibilidade entre a composição química da argila e do vidro, que são basicamente formados por sílica (SiO₂), com um pequeno percentual de sódio (Na₂O) e cálcio (CaO).

Além da possibilidade de dar um destino ambientalmente correto para este tipo de resíduo, Teixeira et al., (2008), afirmam que com a adição de vidro em cerâmica vermelha ocorre um aumento nos teores de óxidos fundentes, que são responsáveis pela formação da fase líquida e pela densificação das massas cerâmicas durante o processo de queima, contribuindo na melhoria das propriedades.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo caracterizar resíduo de vidro de embalagens para incorporação em uma massa de cerâmica vermelha.

METODOLOGIA

Materiais

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizado como matéria-prima resíduo de vidro de embalagens múltiplo uso. As embalagens de vidro foram doadas e coletadas na empresa RECICAMPOS, em Campos dos Goytacazes.

A fim diminuir o tamanho das partículas o vidro inicialmente foi quebrado com um triturador de mandíbula, e posteriormente, com o auxílio de um moinho de bolas até passagem completa em peneira de 200 mesh.

Caracterização das matérias-primas

O vidro na forma de pó foi submetido a caracterização: química, térmica, mineralógica e morfológica.

Através da técnica FRX foi realizada a análise química semi-quantitativa no resíduo de vidro. Para isso, foi utilizado um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X da marca UNICAM, modelo Solar 969, do SENAI - Unidade de Criciúma/SC - Centro de Tecnologia em Materiais - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais.

O procedimento para análise mineralógica de difração de raio X foi realizado pelo método do pó, após passagem da amostra em peneira de 200 mesh (0,074 mm). Para isto, utilizou-se o difratômetro da marca Rigaku, Ultima IV, com radiação Cu-K α , varredura 2 θ , variando de 5° a 60°, com passo de 0,02° por segundo, e tempo de 5s, da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) - Centro de Ciências Tecnológicas - Laboratório de Ciências Físicas – LCFIS.

A análise de dilatométrica óptica foi realizada para verificar as variações dimensionais sofrida pelo resíduo de vidro quando submetido a um aquecimento definido, através do método que consiste de variações acompanhadas por dispositivos ópticos. O ensaio foi realizado na Escola de Engenharia de Lorena – EEL - USP, através de um dilatômetro óptico da marca Misura onde a temperatura máxima foi de 1600°C, com taxa de aquecimento de 40°C/min. O resíduo de vidro passou por um moinho de bolas até obter um material passante na peneira 325 mesh. As amostras foram então compactadas em formato cilíndrico e posicionadas na região central de uma base de alumina e encaminhadas para o dilatômetro.

A morfologia do resíduo foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A amostra do resíduo bruto passou por uma metalização, procedimento onde foram recobertas por uma fina camada de ouro, em metalizador Shimadzu modelo IC-50. A microanálise do material foi realizada por EDS para complementar a análise topográfica e identificar os elementos químicos presentes, ou partículas de segundas fases. O processo foi realizado na Universidade de Antioquia, Colômbia

RESULTADOS

Na Tabela 1 é apresentada a composições químicas do vidro de embalagens. É possível observar que o principal componente do vidro é a sílica (SiO₂), com 69,34%, seguido pelo óxido de sódio (Na₂O) e óxido de cálcio (CaO), representando 14,49 e 9,31%, respectivamente. A sílica é importante para constituir a estrutura de vidro, já os óxidos de sódio, cálcio e potássio são utilizados como modificadores de rede cristalina e estabilizantes, contribuindo na dissolução da sílica, além de baixar a viscosidade e reduzirem a resistência ao ataque hidrolítico (Janetti e Jaime, 2022; Schmidt, 2015; Schaeffer; Langfeld, 2020). Para Akernan (2012), o vidro desejado é que tenha a composição com os percentuais de 72% (SiO₂), 14% Na₂O, e 14% (CaO).

O óxido de alumínio (Al₂O₃) está na composição do vidro para conferir maior resistência a choques mecânicos. Os óxidos Mg e Sr são encontrados em menores percentuais, e são adicionados para aumentar a resistência do vidro suportando mudanças bruscas de temperaturas. Outros óxidos, como Fe₂O₃, MnO, TiO₂, Cr₂O₃, CuO são adicionados como matérias-primas nos fornos para dar cor ao vidro, e são utilizados de acordo com a finalidade final. A cor é uma

característica muito importante do vidro, onde componentes são dissolvidos no processo produtivo. Esses componentes normalmente são metais que interagem com a luz, e conseguem captar algumas cores e deixam outras passar (Ackerman, 2013). O Cr_2O_3 e MnO são utilizados na produção de garrafas de vinho, o Fe_2O_3 é utilizado na produção de vidro de coloração verde, ou em associação com outros óxidos, para outras colorações, como verde azulado, cinza, entre outros. As cores podem variar desde o incolor até em infinitas cores, que podem ser ainda de uma leve tonalidade a total opacidade (Martins e Pinto, 2004). O óxido SO_3 é utilizado nos fornos para retirar bolhas que foram geradas no processo, evitando defeitos nas peças.

Tabela 1: Composição química do vidro de embalagens (% em peso).

Elementos	Vidro de embalagens
Al_2O_3	1,81
CaO	9,31
Fe_2O_3	0,25
K_2O	2,23
MgO	0,37
MnO	0,013
Na_2O	14,49
SiO_2	69,34
TiO_2	0,04
SO_3	0,43
Cr_2O_3	0,070
SrO	0,042
Rb_2O	0,018
ZrO_2	0,014
CuO	0,011
PbO	<0,005
ZnO	<0,004
PF*	3,55

Embora possam estar presentes vários tipos de vidros, a composição química do vidro de embalagem é típica de vidro sodo-cálcico, o vidro comercial mais comum e o mais barato, representando cerca de 90% da produção. Eles são usados principalmente na produção de embalagens, como garrafas, potes e frascos, e também para produção de copos, vidro de janela, na indústria automobilística e em eletrodomésticos.

Na Figura 1 é apresentado o difratograma de raio X do vidro de embalagens. É possível observar uma composição amorfa com picos associados ao espinélio. Nota-se a ausência de outros picos bem definidos, que seriam característicos de uma amostra cristalina, e sim bandas entre 20° a 40° , características de materiais predominantemente amorfos (Santos, 1989).

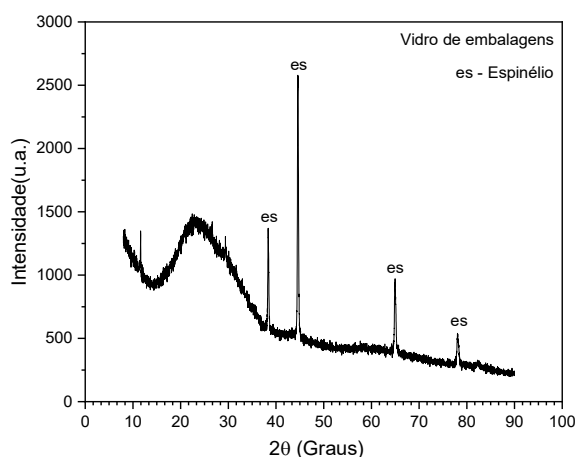


Figura 1: Difratograma de raios X do vidro de embalagens

Na Figura 2 é apresentado o resultado da dilatometria óptica do vidro de embalagens. É possível observar, através da sequência de imagens, que ocorre uma mudança geométrica das amostras a partir de 799°C, onde a altura inicial do corpo de prova passa de 100%, para 75,8%. Após, ocorre uma contração significativa a 1048°C, com fusão a 1131°C. É possível observar ainda as temperaturas de transição vítrea (T_g) e de amolecimento (T_s), onde a (T_g) indica a temperatura que um material não cristalino se transforma de um líquido superesfriado em um vidro rígido e (T_s) a temperatura máxima que uma peça de vidro pode ser manuseada sem causar alterações dimensionais (Callister, 2013).

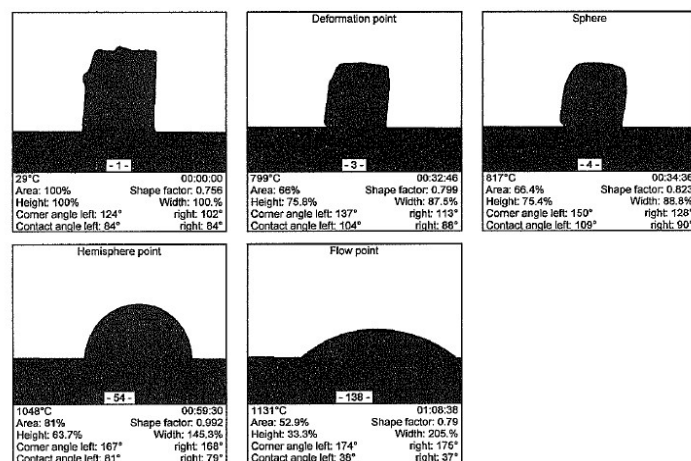


Figura 2: Dilatometria óptica do resíduo de vidro de embalagens.

O vidro após iniciar o fluxo viscoso, se comportando como líquido, quando adicionado em uma massa cerâmica pode proporcionar melhores propriedades físicas e mecânicas através do fechamento de poros, isto devido à temperatura do vidro ser compatível com a temperatura da cerâmica vermelha, que resistem a temperaturas superiores a 1000 °C.

Na Figura 3 é apresentado o MEV do resíduo de vidro de embalagens bem como o EDS. É possível observar que as partículas apresentam superfícies irregulares, com diferentes tamanhos de partículas. No mapeamento de EDS, é possível observar partículas com predomínio de Si, que estão associadas à sílica que constitui a estrutura de vidro. São observados também Ca e Na, que são utilizados na dissolução da sílica, baixando a viscosidade além de reduzirem a resistência ao ataque hidrolítico.

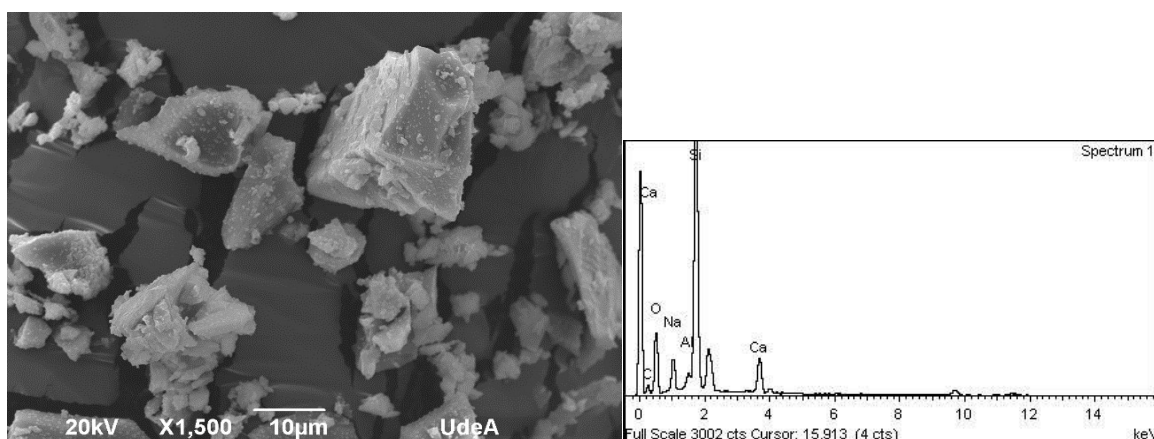


Figura 3: MEV do pó do vidro de embalagens com mapeamento de EDS

CONCLUSÕES

O resíduo de vidro de embalagens múltiplo-uso investigado tem composição química constituído predominantemente de sílica (SiO_2), seguido pelos óxidos de sódio (Na_2O) e cálcio (CaO). Estes óxidos fundentes atuam no processo de sinterização, diminuindo a temperatura de queima das cerâmicas.

A faixa de trabalho do resíduo de vidro está apresenta entre 817 a 1049°C. Temperaturas muito baixas são insuficientes para que o resíduo de vidro preencha a porosidade da cerâmica por fluxo viscoso. A temperatura de fusão para o resíduo investigado neste estudo é de 1138°C. Este fator é favorável a processos que envolvem temperaturas mais altas como, por exemplo, para a produção de produtos de maior valor agregado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UENF, à CAPES, à FINEP, ao CNPq proc. nº 302976/2022-1, à FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, proc. nº E-26/203.927/2024, E-26/200.105/2024, E-26/210.513/2025 pelo apoio financeiro, e à Arte Cerâmica Sardinha pela doação da matéria-prima argilosa utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Monteiro, S.N., Alexandre, J., Margem, J.I., Sanchez, R., Vieira C.M.F. **Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic**. Construction and Building Materials, 22, p.1281-1287, 2008.
2. Tallini Jr., V.M.T; Mymrine, V.; Ribeiro, R.A.C.; Ponte, H.A. Reciclagem de Resíduos Industriais em Materiais Cerâmicos. In: 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais eletrônicos. Salvados. BA. 2007
3. Moraes, A.S.C.; Caldas, T.C.C.; Monteiro, S.N.; Vieira, C.M.F. “Characterization of fluorescent lamp glass waste powder”, Mater. Sci. Forum 727-728 (2013) 1579-1584.
4. CEMPRES - Compromisso Empresarial Para Reciclagem - O mercado para reciclagem - <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acessado em janeiro de 2019.
5. ABVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro -. Benefícios da reciclagem do vidro, disponível em: Acesso em janeiro /2019.
6. Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. ; Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review, Rev. Matéria 14, 3 (2009) 881-905
7. Oliveira, E. M. S.; Machado, S. Q.; Holanda, J. N. F. Caracterização De Resíduo (Lodo) Proveniente De Estação De Tratamento De Águas Visando A Sua Utilização Em Cerâmica Vermelha. Revista Cerâmica Industrial (Abceram), Nº 50, P. 324-330, 2004
8. Teixeira, S.R.; Costa, F.B.; Souza, A.E.; Santos, G.T.A. Reuse of glass cullet as aggregate for red ceramic clays. Revista Ciências Exatas – Universidade de Taubaté (UNITAU), vol. 2, n. 1, 2008.
9. Santos, P. S. Ciência e Tecnologia das Argilas. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1989. 408.91p.