

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE VIDROS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA COM ENFOQUE SUSTENTÁVEL

USE OF ORNAMENTAL STONE WASTE IN GLASS MANUFACTURING: A BIBLIOGRAPHIC REVIEW WITH A SUSTAINABLE FOCUS

Janaína Davel dos Anjos

Aluna de Graduação da Engenharia de Minas 9º período

Instituto Federal do Espírito Santo - IFES

Período PIBITI/CETEM: março de 2025 a agosto de 2025

janainadavel355@gmail.com

Mariane Costalonga de Aguiar

Orientadora, Química, D.Sc.

maguiar@cetem.gov.br

Monica Castoldi Borlini Gadioli

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.

monicaborlini28@hotmail.com

RESUMO

A produção de vidros a partir de resíduos de rochas ornamentais tem se mostrado uma alternativa promissora para a valorização de rejeitos gerados ao longo da cadeia produtiva do setor, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento de novos materiais. Diversos estudos vêm sendo conduzidos com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica desses resíduos como fonte de óxidos para formulações vítreas, aproveitando sua composição química rica em sílica, alumina e outros elementos responsáveis pela coloração do vidro de acordo com o tipo de vidro desejado. O objetivo com este trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a utilização de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros, com o intuito de fornecer embasamento teórico para o desenvolvimento de novas formulações vítreas a serem produzidas. Este levantamento visa fornecer base teórica para projetos que buscam otimizar a formulação de vidros sustentáveis, contribuindo com o avanço do conhecimento na área e para o desenvolvimento de soluções tecnológicas ambientalmente responsáveis.

Palavras chave: Rochas ornamentais, resíduos, vidros.

ABSTRACT

Glass production from ornamental stone waste has proven to be a promising alternative for reusing waste generated throughout the industry's production chain, contributing to environmental sustainability and the development of new materials. Several studies have been conducted to assess the technical feasibility of this waste as a source of oxides for glass formulations, leveraging its chemical composition, rich in silica, alumina, and other elements responsible for coloring the glass according to the desired glass type. The objective of this study was to conduct a literature review on the use of ornamental stone waste in glass manufacturing, aiming to provide a theoretical basis for the development of new glass formulations. This survey aims to provide a theoretical basis for projects seeking to optimize the formulation of sustainable glass, contributing to the advancement of knowledge in the field and the development of environmentally responsible technological solutions.

Keywords: Ornamental stones, waste, glass.

1. INTRODUÇÃO

As exportações brasileiras de rochas naturais destinadas à ornamentação e revestimento totalizaram US\$ 1,26 bilhão e 2,05 milhões de toneladas em 2024, representando um crescimento de 12,92% em valor e 12,56% respectivamente, em volume em relação ao ano de 2023. O Espírito Santo é um dos principais estados de exportações e atividades de beneficiamento de rochas ornamentais. Em 2024, o Espírito Santo respondeu por um faturamento de US\$ 1.032,6 milhões, equivalente a 82,2% das exportações nacionais do setor (ABIROCHAS, 2025).

Em paralelo ao elevado volume de produção de rochas ornamentais, a indústria desse setor gera anualmente milhões de toneladas de resíduos. As diferentes fases do processo produtivo resultam em perdas expressivas de material, destacando-se o desdobramento de blocos em chapas, etapa em que aproximadamente 40% do volume original é convertido em resíduo sob a forma de lama de serragem. Esse índice não considera os resíduos gerados diretamente nas jazidas, durante a lavra e o desmonte das bancadas rochosas (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

Diferentes estudos têm buscado alternativas técnicas para utilizar os resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais como insumo na fabricação de diferentes produtos como a produção de vidros. Nesse contexto, a incorporação desses resíduos em novas formulações contribui para a redução dos impactos ambientais, promove o uso mais eficiente de recursos naturais não renováveis e, simultaneamente, impulsiona o desenvolvimento econômico dos setores relacionados (LIMA et al., 2022).

2. OBJETIVO

O objetivo com este trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a utilização de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros, com o intuito de fornecer embasamento teórico para o desenvolvimento de novas formulações vítreas a serem produzidas.

3. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, para identificar, reunir e analisar publicações científicas que tratam do aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na produção de vidros.

Foram considerados estudos publicados nos últimos anos, com foco em abordagens que promovam o aproveitamento de resíduos como matéria-prima na formulação de composições vítreas. Além da identificação dos materiais utilizados, também foram analisadas as metodologias aplicadas, os parâmetros de processamento e os principais resultados alcançados. A revisão visa, ainda, apresentar os avanços tecnológicos e as limitações existentes, contribuindo para o aperfeiçoamento da técnica de fabricação de vidros a partir desses resíduos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Levantamento Bibliográfico

4.1.1 Vidros

Segundo a Cebrace (2025) o vidro é amplamente utilizado na indústria e considerado insubstituível em muitas aplicações, sendo destaque em pesquisas tecnológicas voltadas ao bem-estar humano.

Desde a Idade Média até a Renascença, o vidro passou por um notável crescimento e diversificação em sua produção, tornando-se amplamente utilizado em instrumentos e recipientes de laboratórios alquímicos e químicos. A partir daí, estabeleceu-se uma forte ligação

entre o vidro e o avanço científico, especialmente na área da Química. No Brasil, o desenvolvimento vidreiro continuou com uma trajetória marcada pela interação entre ciência, inovação, indústria e comércio. Atualmente, o vidro apresenta uma grande variedade de tipos, cujas composições são definidas conforme as propriedades físico-químicas necessárias para cada aplicação (SILVA, 2023).

4.1.2 Classificação dos tipos de vidro

Sodo-cálcicos

Para tornar os vidros de silicatos alcalinos menos solúveis sem dificultar sua fusão, substituem-se os fundentes alcalinos por estabilizantes, como óxido de cálcio e magnésio. Esses vidros, chamados sodo-cálcicos, são os mais antigos e ainda os mais comuns – usados desde o Egito Antigo até hoje em garrafas, potes, janelas e lâmpadas (AKERMAN, 2000).

Chumbo

O óxido de chumbo atua como modificador de rede e, em determinadas composições, também como formador de rede. Vidros contendo chumbo e álcalis apresentam ampla faixa de trabalho e elevado índice de refração, resultando em um brilho intenso. Essas características os tornam especialmente adequados para a fabricação de peças finas e decorativas, tradicionalmente denominadas “cristal”, apesar de sua estrutura amorfa (AKERMAN, 2000).

Borossilicatos

O óxido de boro forma vidro ao resfriar acima de 460°C, criando uma rede de triângulos B_2O_3 em vez da estrutura 3D da sílica. Em vidros com baixo teor alcalino, ele age como fluxo sem aumentar muito a expansão térmica. Por isso, os vidros borossilicatos resistem a choques térmicos e produtos químicos, sendo usados em utensílios para forno e material laboratorial (AKERMAN, 2000).

Alumino-borossilicato

A alumina atua como formador de rede em vidros silicatos, adotando coordenação tetraédrica. Sua carga trivalente (Al^{3+}) neutraliza oxigênios não-pontes, aumentando a coesão da rede e a viscosidade a altas temperaturas. Os vidros alumino-silicatos superam sodo-cálcicos e borossilicatos em estabilidade térmica, sendo usados em ambientes extremos (combustão, fibras) e onde se exige resistência química ou propriedades vitrocerâmicas (AKERMAN, 2000).

Silicatos alcalinos

Óxidos alcalinos, geralmente adicionados como carbonatos, atuam como fluxos e modificadores de rede, reduzindo a viscosidade da sílica fundida por meio da geração de oxigênios não-compartilhados. Reagem com a sílica acima de 550 °C, formando um líquido que origina o vidro ao resfriar. Em excesso, os álcalis reduzem a resistência química, tornando o vidro solúvel, base para silicatos usados em adesivos e produtos de limpeza (AKERMAN, 2025).

Sílica vítreia

A sílica vítreia é obtida por aquecimento de cristais de sílica a temperaturas superiores a 1300 °C, embora o processo de fusão seja lento. Este material se destaca pelo seu baixo coeficiente de expansão térmica, o que o torna ideal para aplicações que exigem alta resistência a choques térmicos e estabilidade dimensional, como janelas espaciais. Quando produzida com alta pureza por meio de deposição química em fase vapor, a sílica vítreia é essencial para a fabricação de fibras ópticas (AKERMAN, 2025).

4.1.3 Estudos relevantes

A Tabela 1 apresenta estudos que utilizaram resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidro, organizados por autor e ano de publicação.

Tabela 1: Trabalhos de fabricação de vidro com de resíduos de rochas ornamentais.

Autores	Gevu et al. (2024)	Babisk et al. (2023)	Oliveira et al. (2023)	Marçal et al. (2012)	Marçal (2011)	Babisk (2009)
Tipo de resíduo	Granito	Quartzito e Granito	Quartzito e granito	Mármore e granito	Granito	Granito e mármore
Tipo de vidro	Sodo-cálcico	Chumbo	Chumbo	Borossilicato	Borossilicato	Sodo-cálcico

A partir da revisão dos estudos publicados nos últimos anos, foi possível identificar diferentes abordagens voltadas ao aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais como matéria-prima alternativa na formulação de composições vítreas. Os trabalhos analisados demonstram que a escolha do tipo de resíduo influencia diretamente nas características finais do vidro produzido, uma vez que a composição química e mineralógica dos materiais afeta parâmetros como ponto de fusão, viscosidade, coloração e estabilidade da fase vítreia.

As metodologias aplicadas nos estudos variam quanto ao tipo de resíduo utilizado (granito, mármore, quartzito), aos métodos de preparação da composição vítreia (fusão em cadiño, moagem prévia, adição de fundentes) e às condições de processamento térmico (temperatura e tempo de fusão). Os parâmetros de processamento, como a temperatura de fusão (geralmente entre 1300 °C e 1500 °C) e taxa de resfriamento, mostraram-se decisivos para a obtenção de vidros com boa homogeneidade e propriedades físico-químicas adequadas.

Os principais resultados alcançados nos estudos indicam que os resíduos de rochas ornamentais apresentam grande potencial como substitutos parciais ou totais de matérias-primas convencionais (como areia, calcário e feldspato), podendo ser empregados na produção de diferentes tipos de vidro, desde sodo-cálcico até borossilicato, chumbo e fibras vítreas. No entanto, também foram observadas limitações, como a necessidade de ajustes na formulação para controle de cor e transparência, além de desafios relacionados à variação composicional dos resíduos.

Dessa forma, os avanços tecnológicos identificados na literatura reforçam a viabilidade do uso desses resíduos na indústria vidreira, ao mesmo tempo em que apontam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a padronização das composições e o desempenho técnico dos materiais produzidos, contribuindo para o aperfeiçoamento da técnica e para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

5. CONCLUSÕES

Considerando o potencial de aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros, torna-se evidente a necessidade de aprofundar os estudos com embasamento científico acerca da influência das características mineralógicas e químicas desses materiais no desempenho das composições vítreas. Cada tipo de resíduo apresenta comportamento distinto durante o processamento térmico, o que pode impactar diretamente na formação da fase vítreia, na estabilidade química, na sua coloração e nas propriedades finais do material.

Além dos aspectos técnicos, destaca-se a relevância ambiental dessa abordagem, que promove a valorização de resíduos industriais, contribui para a redução do volume de rejeitos dispostos em aterros e diminui a extração de matérias-primas naturais utilizadas tradicionalmente na indústria vidreira. A incorporação desses resíduos em formulações vítreas está alinhada aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável, sendo uma estratégia promissora para minimizar os impactos ambientais da cadeia produtiva de rochas ornamentais e agregar valor à materiais até então considerados descartáveis.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo nº105054/2025-9) pela concessão da bolsa de iniciação científica e às minhas orientadoras, Mariane Costalonga de Aguiar e Monica Castoldi Borlini Gadioli, pelo apoio e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço do setor brasileiro de rochas ornamentais e de revestimento em 2024. disponível em: < https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2025/03/informe-01_2025-exportacoes-2024-1.pdf > Acesso em: 27 jun. 2025.

AKERNAN, M. Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro. Centro técnico de elaboração do vidro, 2000.

AKERMAN, M. Classificações dos tipos de vidros, 2025. Disponível em: <<https://vidrado.com/noticias/artigos/tipos-de-vidros-e-suas-classificacoes/#:~:text=I.,para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20fibras%20%C3%B3ti>> Acesso em 28 jul. 2025.

ALVES, O.L.; GIMENEZ, I.F.; MAZALI, I.O. Vidros. Química Nova na Escola, São Paulo, Brasil, v. maio, n.Ed. Esp., p. 13-24, 2001.

BABISK, M.P.; GAVA, V.B.; SAMPAIO, J.A.; TABELINI, D.B.; GADIOLI, M.C.B.; VIEIRA, C.M.F. Desenvolvimento de vidros ao chumbo contendo resíduos de rochas ornamentais. Revista observatorio de la economía latinoamericana curitiba, v.21, n.12, p. 25100-25113. 2023.

BABISK, M.P.; LOURO, L.H.L.; ROCHA, J.C. Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia; Instituto Nacional de Tecnologia, 2009.

CEBRACE, A história do vidro, 2025. Disponível em: < <https://www.cebrace.com.br/area-tecnica/enciclopedia-do-vidro/a-historia-do-vidro/> > Acesso em: 26 de jul. de 2025.

OLIVEIRA, D.B. C; BABISK, M.P.; de AGUIAR, M.C.; GADIOLI, M.C.B.; FELIPE, E.F. Development of Lead Crystal Glasses Using Ornamental Stone Waste. RGSA (ANPAD), v. 18, P. E04423, 2023.

GEVU, G.; BABISK, M.P.; GADIOLI, M.C.B.; SAMPAIO, J.A.; SOFFNER, M.E. Granite waste as a source of network former for soda-lime glass production: Evaluation of their potential use in proportions higher than 70%. materials letters, v. 377, p. 137420, 2024.

LIMA, R.M.; GADIOLI, M.C.B.; AGUIAR, M.C.; PEDRUZZI, A.D. Planejamento de experimentos aplicado no aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2022. (Série Rochas e Minerais Industriais, 32).

MARÇAL, R.L.S B. Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos de corte e polimento da indústria de rochas ornamentais. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

MARÇAL, R.; SILVA, M.H.P.S.; LIMA, E.S.; LOURO, L.H.L. Production of Borosilicate Glasses from Residues of Ornamental Rocks. Materials Science Forum, v. 727-728, p. 629-634, 2012. Disponível em: < <https://www.scientific.net/MSF.727-728.629> > Acesso em: 28 jul. 2025.

SILVA, W.T.; FILGUEIRAS C.A.L. O vidro e sua importância na vida e na química. Química. Nova, Belo Horizonte- MG, vol. 46, nº. 5, 491-501, 2023.

VIDAL, F.W.H., AZEVEDO, H.C.A., CASTRO, N.F. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.