

VIDROS PRODUZIDOS COM REJEITOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

GLASSES PRODUCED WITH REJECTS FROM THE PROCESSING OF ORNAMENTAL STONES

Thana Milena Lino Sabino

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas 8º período
Instituto Federal do Espírito Santo
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: Setembro de 2023 a agosto de 2024
thana.milena.l@gmail.com

Monica Castoldi Borlini Gadioli

Orientadora, Engenheira Química, D.Sc.
mborlini@cetem.gov.br

Mariane Costalonga de Aguiar

Coorientadora, Química, D.Sc.
maguiar@cetem.gov.br

Michelle Pereira Babisk

Coorientadora, Física, D.Sc.
michellebabisk@hotmail.com

RESUMO

O setor de rochas ornamentais brasileiro é um destaque no cenário mundial. No entanto, a etapa de beneficiamento nas indústrias de rochas ornamentais gera grandes quantidades de rejeitos finos anualmente. O objetivo deste trabalho foi produzir vidros ao chumbo utilizando os rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais, especificamente quartzito, provenientes do tear multifio, visando contribuir com a economia circular, aproveitando materiais que seriam descartados, e transformando-os em produtos de valor agregado. Foram produzidos vidros ao chumbo com resíduos de rochas ornamentais utilizando-os como fonte de sílica. A técnica utilizada para a fabricação dos vidros foi a de fusão/resfriamento utilizando cadinhos de alumina. A temperatura máxima do processo foi de 1500°C com um tempo de 3 horas. Após a fusão/resfriamento, os vidros foram resfriados por inércia do forno e caracterizados por meio de fluorescência de raio-X (FRX) e difração de raio-X (DRX). Os resultados mostraram que o rejeito de quartzito é um excelente substituto da areia na produção de vidros, proporcionando uma alternativa sustentável que reduz os impactos ambientais associados à extração de areia e contribui para a economia circular. A utilização desses rejeitos não só minimiza a deposição de resíduos no meio ambiente, mas também promove a sustentabilidade no setor de rochas ornamentais.

Palavras-chave: rochas ornamentais; rejeitos; vidro.

ABSTRACT

The Brazilian ornamental stone sector is a highlight on the world stage. However, the processing stage in the ornamental stone industries generates large amounts of fine waste annually. The objective of this work was to produce lead glass using waste from the processing of ornamental stones, specifically quartzite, from the multiwire gangsaw, aiming to contribute to the circular economy, using materials that would otherwise be discarded, and transforming them into value-added products. Lead glasses were produced with ornamental stone wastes using them as a source of silica. The technique used to manufacture the glasses was melting/cooling using alumina crucibles. The maximum process temperature was 1500°C with a time of 3 hours.

After melting/cooling, the glasses were cooled by furnace inertia and characterized using X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD). The results showed that quartzite waste is an excellent substitute for sand in glass production, providing a sustainable alternative that reduces the environmental impacts associated with sand extraction and contributes to the circular economy. The use of this waste not only minimizes the deposition of waste in the environment, but also promotes sustainability in the ornamental stone sector.

Keywords: ornamental stones; waste; glass.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, o desempenho do Brasil no mercado internacional de rochas ornamentais tem acompanhado, ou até mesmo superado, o dos outros grandes novos players do setor. Segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2024), o Brasil é o 4º maior produtor mundial de rochas ornamentais e o 5º maior exportador. No primeiro quadrimestre de 2024, as exportações brasileiras do somaram US\$ 384,8 milhões e 639,6 mil t (ABIROCHAS, 2024).

Devido à alta produção de rochas ornamentais no país, milhões de toneladas de estéreis e rejeitos de rochas ornamentais são produzidas anualmente. As distintas etapas de produção da indústria geram perdas significativas. Somente no desdobramento dos blocos em chapas, cerca de 40 % do material é perdido em forma de rejeitos de serragem, isso sem levar em conta o volume de estéril gerado nas jazidas durante a extração do material rochoso das bancadas. (VIDAL; AZEVEDO; CASTRO, 2014).

Uma solução visando um modelo produtivo é a economia circular. Na economia circular, os materiais são reutilizados, recuperados e reciclados objetivando um ciclo fechado e resíduo zero, minimizando o depósito no meio ambiente e, evitando efeitos ambientais negativos. (FOSTER, et al. 2016). Uma alternativa para a diminuição desses rejeitos é seu aproveitamento na fabricação de outros materiais como vidros, por exemplo (OLIVEIRA et al. 2023; BABISK et al. 2019).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi produzir vidros ao chumbo utilizando os rejeitos de rochas ornamentais, especificamente quartzito, provenientes do tear multifio, visando contribuir com a economia circular, aproveitando materiais que seriam descartados, e transformando-os em produtos de valor agregado.

3. METODOLOGIA

Neste estudo, rejeitos de rochas ornamentais foram empregados na formulação de vidros ao chumbo como substituto da areia, que é tradicionalmente usada na indústria como fonte de sílica (SiO_2). Os rejeitos coletados provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais, denominado como quartzito, foi coletado em uma empresa em Cachoeiro de Itapemirim-ES. Os rejeitos coletados foram secos em estufa a 110°C por 24h, para retirada de água residual. Posteriormente foram resfriados naturalmente, resultando em pós secos próprios para utilização na produção do vidro. Além dos rejeitos, foram usados reagentes químicos de pureza analítica (P.A.) para ajustar a composição dos vidros ao chumbo: carbonato de cálcio (CaCO_3), monóxido de chumbo (PbO) e carbonato de sódio (Na_2CO_3).

3.1 Caracterização dos Rejeitos e do Vidro Produzido

A caracterização dos rejeitos e do vidro produzido foram realizadas por meio da fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX).

Os teores apresentados na análise de FRX foram determinados por análise semiquantitativa (standardless) em espectrômetro por fluorescência de raios-X Bruker, modelo S2 Ranger. Para a determinação da perda por calcinação – PPC foi utilizado o forno mufla INTI modelo FL1300/20.

A análise de DRX foi determinada pelo método do pó. Foram coletados em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo com tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80° 2 θ .

3.2 Ensaio

Para a produção do vidro, foram misturados em um cadinho de alumina: rejeito de rocha ornamental (quartzito), óxido de chumbo (PbO), óxido de potássio (K₂O), óxido de sódio (Na₂O) e óxido de cálcio (CaO). Posteriormente, o cadinho com a mistura foi colocado em um forno de alta temperatura.

O forno foi aquecido da temperatura ambiente até 500°C a uma taxa de aquecimento de 2°C/min e manteve-se a essa temperatura durante 60min. Novamente, a temperatura do forno foi aumentada para 1000°C, a uma taxa de temperatura de 5°C/min, permanecendo a 1000°C por 120 min. Por fim, a temperatura do forno foi novamente aumentada para 1500°C, a uma taxa de aquecimento de 3°C/min, e ficou nesse patamar por 180 min. Ao fim dos aquecimentos, o forno foi resfriado para temperatura de 30°C a uma taxa de resfriamento de 10°C/min.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Rejeito

A Tabela 1 apresenta a composição química do rejeito de rocha ornamental. É possível observar a presença majoritária da sílica (SiO₂), com 97,90% no rejeito de quartzito. Esse é principal óxido formador de vidros silicatos e, portanto, dos vidros ao chumbo. Esse resultado confirma a eficiência desses rejeitos como fornecedor de sílica em substituição à areia (BABISK et al. 2023).

Tabela 1: Composição do rejeito de quartzito.

Rejeito	Composição química (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CoO	*PPC
Multifio	98	0,711	0,332	0,278	0,024	0,68

A Figura 1 apresenta o difratograma de raios-X do rejeito de quartzito. Nota-se a presença integralmente dos picos do quartzo, que é a forma cristalina da sílica (SiO₂), o que comprova e corrobora com a literatura sobre a descrição do quartzito ser formado quase inteiramente por quartzo.

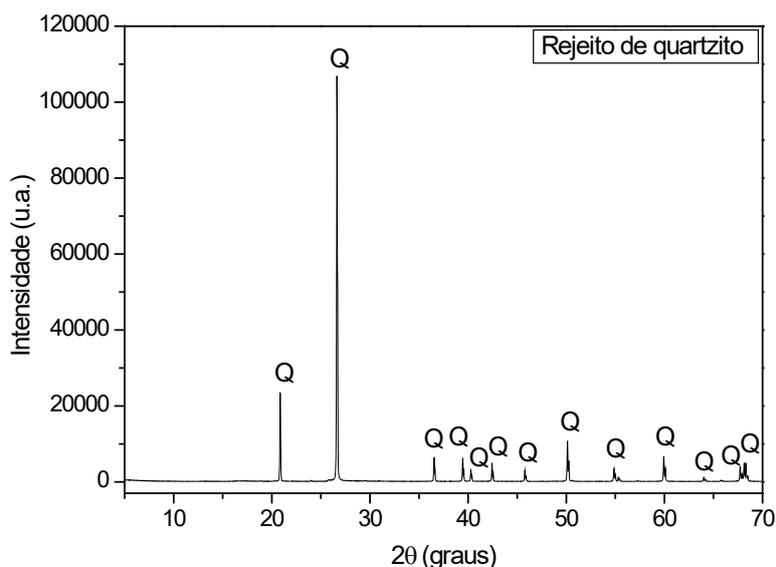


Figura 1: Difratoograma de raios-X do rejeito de quartzito.
Q = Quartzo

4.2 Caracterização dos Vidros Produzidos

A Figura 2 apresenta o vidro ao chumbo produzido com o rejeito de quartzito. Nota-se que o vidro apresentou coloração azulada, que pode estar associado ao óxido de cobalto encontrado no rejeito de quartzito mesmo que em pequena porcentagem. De acordo com Silva e Filgueiras (2023), os íons de cobalto formam um composto de coordenação com os oxigênios dos íons silicato, originando a cor azul.



Figura 2: Imagem do vidro ao chumbo produzido com o rejeito de quartzito.

A Tabela 2 apresenta a composição química dos vidros produzidos com o rejeito de rocha ornamental, desenvolvidos a partir das proporções das matérias-primas utilizadas, incluindo os reagentes e seus rejeitos associados. Os resultados obtidos foram confirmados por meio de caracterizações por DRX e FRX dos rejeitos de quartzito.

Tabela 2: Composição química do vidro produzido com rejeito de quartzito.

Material	Composição química (%)										
	SiO ₂	PbO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	As ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃	Outros
Vidro	52,9	21,9	10,9	6,1	4	2,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,7

A Figura 3 apresenta o difratograma de raios-X do vidro produzido. Nota-se que não há presença de picos cristalinos. A banda amorfa em torno de 27° , que é o pico de maior intensidade de sílica (SiO_2) (BABISK et al. 2023), caracteriza o vidro como amorfo, pois ele não apresenta ordem de longo alcance em seu arranjo atômico.

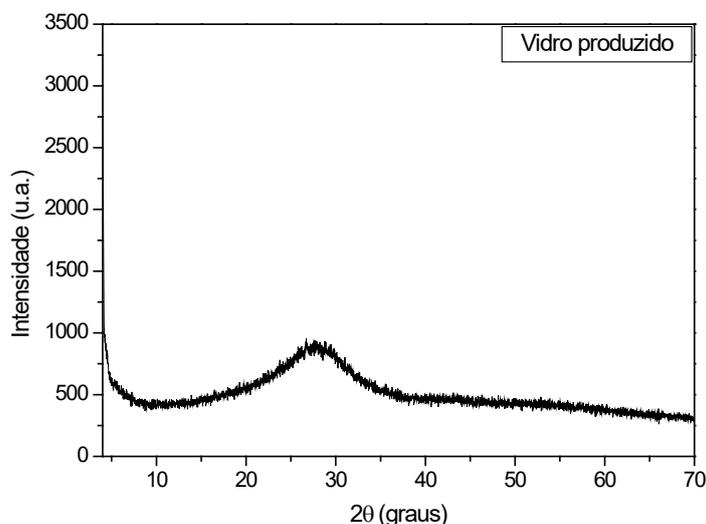


Figura 3: Difratograma de raios-X do vidro produzido com rejeito de quartzito.

5. CONCLUSÕES

Os resultados mostram a viabilidade da utilização dos rejeitos de rochas ornamentais no desenvolvimento de vidros ao chumbo. O uso desses rejeitos (quartzito) são excelentes substitutos da areia na fabricação de vidros, pois eles favorecem a fusão durante o processo produtivo. Além de mitigar os impactos ambientais e preservar a matéria-prima areia, o uso desses rejeitos não só contribui para a economia circular ao reintegrar resíduos no ciclo produtivo, mas também fortalece a sustentabilidade da indústria do vidro.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo nº 124969/2023-8) pela bolsa concedida, as minhas orientadoras Monica Castoldi Borlini Gadioli e Mariane Costalonga de Aguiar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Exportações / Importações Brasileiras. (Informe n. 01/2024). Disponível em: < <http://www.abirochas.com.br> > Acesso em: 11 Jul. 2024.

BABISK, M.P.; GAVA, V.B.; SAMPAIO, J.A.; TABELINI, D.B.; GARDIOLI, M.C.B.; VIEIRA, Carlos Maurício Fontes. Desenvolvimento de vidros ao chumbo contendo resíduos de rochas ornamentais. OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, vol. 21, p. 25100-25113. 2023.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações, importações e consumo interno brasileiro de rochas ornamentais em 2018. Brasília: ABIROCHAS, 2019. (Informe n. 01/2019).

OLIVEIRA, D.B.C.; BABISK, M.P.; DE AGUIAR, M.C.; GADIOLI, M.C B.; FELIPE, E.S. Development of Lead Crystal Glasses Using Ornamental Stone Waste. RGSA (ANPAD), vol. 18, p. 04423. 2023.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. **Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica.** Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente, São Paulo, 2016.

SILVA, W. T.; FILGUEIRAS, C. A. L. **O vidro e sua importância na vida e na química.** Quim. Nova, Vol. 46, No. 5, 491-501, 2023.

VIDAL, W.H.; DE AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento,** Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Rio de Janeiro, 2014.