



Incorporação de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica vermelha: uma abordagem sustentável

Incorporation of ornamental stone waste in the production of red ceramics: a sustainable approach

DOI: 10.55905/oelv21n11-008

Recebimento dos originais: 22/09/2023

Aceitação para publicação: 23/10/2023

Matheus Moura Amorim

Graduando em Engenharia de Minas

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 5, s/nº, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim - ES, CEP: 29311-970

E-mail: matheusamorim0910@gmail.com

Mariane Costalonga de Aguiar

Doutora em Química

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 5, s/nº, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim - ES, CEP: 29311-970

E-mail: maguiar@cetem.gov.br

Kayrone Marvila de Almeida

Mestre em Engenheiro de Minas

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 5, s/nº, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim - ES, CEP: 29311-970

E-mail: kayronemarvila@gmail.com

Maria Angélica Kramer Sant'Ana

Mestra em Engenheira de Minas

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 5, s/nº, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim - ES, CEP: 29311-970

E-mail: mariaangelicaks@gmail.com

Mônica Castoldi Borlini Gadioli

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM)

Endereço: Rodovia Cachoeiro x Alegre, km 5, s/nº, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim - ES, CEP: 29311-970

E-mail: mborlini@cetem.gov.br

RESUMO

O Brasil possui grande participação no mercado global de rochas ornamentais, e o estado do Espírito Santo é um dos principais produtores e exportadores. No entanto, uma quantidade significativa de resíduos é gerada durante o processo de extração e beneficiamento, com baixa taxa de aproveitamento. O aproveitamento desses resíduos na fabricação de cerâmica vermelha tem se mostrado uma alternativa viável para reduzir o impacto ambiental e mitigar o uso da matéria-prima, argila. O objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades físicas e mecânicas da cerâmica vermelha com a incorporação do resíduo de rochas ornamentais e estabelecer diretrizes para o uso desses resíduos na fabricação de cerâmica vermelha, com foco na redução do impacto ambiental e na otimização do uso de matérias-primas. Foram realizadas incorporações nas seguintes proporções: 0, 10, 20, 30, 40 e 50% em peso. Nas composições elaboradas, foram preparados corpos de prova por extrusão e posteriormente queimados a 700 e 800°C. Em seguida, foram realizados ensaios de densidade, retração linear, absorção de água, porosidade e resistência mecânica. Os resultados indicaram que a incorporação dos resíduos de rochas ornamentais na massa da cerâmica vermelha resultou em melhorias nas propriedades tecnológicas, como menor absorção de água e maior resistência mecânica. Os resíduos de rochas ornamentais têm aplicações promissoras na indústria cerâmica, proporcionando benefícios significativos ao material.

Palavras-chave: sustentabilidade, resíduos de rochas ornamentais, cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Brazil has a large share in the global ornamental stone market, and the state of Espírito Santo is one of the main producers and exporters. However, a significant amount of waste is generated during the extraction and processing process, with a low utilization rate. The use of these wastes in the manufacture of red ceramics has proven to be a viable alternative to reduce the environmental impact and mitigate the use of the raw material, clay. The objective of this work was to analyze the physical and mechanical properties of red ceramics with the incorporation of ornamental stone waste and to establish guidelines for the use of these wastes in the manufacture of red ceramics, with a focus on reducing environmental impact and optimizing the use of raw material. Incorporations were carried out in the following proportions: 0, 10, 20, 30, 40 and 50% by weight. In the compositions prepared, specimens were prepared by extrusion and subsequently burned at 700 and 800°C. Then, density, linear shrinkage, water absorption, porosity and mechanical resistance tests were carried out. The results indicated that the incorporation of ornamental stone wastes into the red ceramic mass resulted in improvements in technological properties, such as lower water absorption and greater mechanical

resistance. Ornamental stone waste has promising applications in the ceramic industry, providing significant benefits to the material.

Keywords: sustainability, ornamental stone waste, red ceramics.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil exerce um papel de grande destaque no cenário mundial de rochas ornamentais, figurando como um significativo produtor e exportador destes materiais. Durante o período compreendido entre janeiro e maio de 2023, as exportações nacionais de rochas naturais alcançaram a marca expressiva de US\$ 427,3 milhões, equivalente a um volume impressionante de 703,8 mil toneladas (ABIROCHAS, 2023). O epicentro dessa indústria está situado na região Sudeste do país, onde sua produção desempenha um papel crucial na economia, gerando um considerável número de empregos diretos.

É relevante ressaltar que uma parcela substancial da produção e exportação de rochas ornamentais no Brasil tem sua origem no estado do Espírito Santo, onde um volume significativo desses materiais acaba por se transformar em resíduos durante as etapas de extração e beneficiamento. Infelizmente, a taxa de aproveitamento desses resíduos é notoriamente baixa, resultando em seu descarte em aterros.

O crescente interesse global na questão ambiental, particularmente no que diz respeito ao uso responsável dos recursos naturais e ao gerenciamento adequado de resíduos industriais, tem impulsionado abordagens que buscam transformar o paradigma linear das operações das indústrias de rochas. Nesse contexto, a economia circular se destaca ao propor a reutilização, recuperação e reciclagem de materiais, almejando um ciclo fechado e a redução de resíduos. O cerne desse conceito é desvincular o crescimento do consumo de recursos finitos, mantendo produtos, componentes e materiais em circulação pelo maior tempo possível, através da extensão de sua utilidade e valor. Assim, os resíduos são percebidos como recursos potenciais para a fabricação de novos produtos, estabelecendo uma interconexão e retroalimentação no ciclo econômico (GADIOLI *et al.*, 2021).

Nesse contexto, é crucial mencionar a promulgação da Lei nº 12.305, conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2 de agosto de 2010, no Brasil (BRASIL, 2010). Essa legislação federal foi concebida com o intuito de abordar a problemática dos resíduos no país, estabelecendo uma hierarquia de ações a serem seguidas na geração de resíduos: evitar, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar e dispor adequadamente.

Há um longo histórico de estudos e iniciativas que visam contribuir com estes preceitos de economia circular. Cientistas e especialistas têm se dedicado, ao longo de décadas, a buscar soluções que permitam uma integração eficaz de resíduos no ciclo de produção de novos materiais. A meta é promover a evolução da economia da indústria, transformando-a de um modelo linear para um modelo circular, desencadeando uma transformação essencial para tornar o setor industrial ainda mais eco eficiente e sustentável (CALMON *et al.*, 1998).

A incorporação dos resíduos provenientes de rochas ornamentais na produção de cerâmica vermelha desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade e na mitigação do descarte ambiental. Esses resíduos apresentam o potencial de reduzir a temperatura necessária para a vitrificação e queima, ao mesmo tempo em que possibilitam um controle mais preciso da retração linear, a diminuição da porosidade dos materiais cerâmicos e o aumento da resistência mecânica (GADIOLI *et al.*, 2022 e AGUIAR *et al.*, 2022).

Os resíduos provenientes da indústria de rochas ornamentais têm sido alvo de atenção devido à sua rica composição química. Esses materiais têm demonstrado potencial na produção de diversos produtos, incluindo vidros (GOMES *et al.*, 2020), rochas aglomeradas (GADIOLI *et al.*, 2023), concreto (QUEIRÓZ *et al.*, 2019), rochagem (CAMARA *et al.*, 2021), entre outros. Sua composição química favorável torna esses resíduos economicamente atraentes.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades físicas e mecânicas da cerâmica vermelha fabricada com a incorporação do resíduo de rochas ornamentais e estabelecer diretrizes para o uso desses resíduos na fabricação de cerâmica vermelha, com foco na redução do impacto ambiental e na otimização do uso de matérias-primas.

2 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, foram utilizadas as matérias-primas, argila, proveniente do norte do estado do Espírito Santo e o resíduo de rocha ornamental (granito) provenientes do município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. A Tabela 1 apresenta a composição química das matérias-primas usadas na fabricação da cerâmica vermelha.

Tabela 1. Composição química das matérias-primas

Química	Argila	Resíduo
SiO ₂	41.6	56.0
Al ₂ O ₃	30.8	19.9
Fe ₂ O ₃	9.0	5.8
Na ₂ O	0.13	5.4
MgO	1.2	1.6
K ₂ O	0.92	4.3
P ₂ O ₅	0.17	0.48
CaO	0.16	3.6
Ti ₂ O	1.3	1.1
SO ₃	-	0.19
BaO	-	0.59
PPC *	14.6	0.74

PPC = Perda por calcinação
Fonte: GADIOLI *et al.*, (2022)

2.1 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA CERÂMICOS

Os corpos de prova foram conformados por meio de um processo de extrusão a vácuo, utilizando uma extrusora laboratorial da marca Verdés. Após essa etapa, os materiais passaram por um processo de secagem em uma estufa onde foram mantidos à temperatura de 110°C até que atingissem o peso constante.

As dimensões das peças cerâmicas foram avaliadas logo após o processo de conformação e secagem em estufa. Para realizar essa medição, recorreu-se ao uso de um paquímetro digital MITUTOYO, que apresenta uma precisão de $\pm 0,01$ mm. O peso das

peças cerâmicas foi realizado por meio de uma balança digital SHIMADZU, no modelo UX6200H, com uma precisão de 0,01g.

A queima das cerâmicas foi realizada em um forno mufla laboratorial, especificamente em um modelo Maitec FL 1300. As temperaturas de queima selecionadas foram de 700°C e 800°C com taxa de 2°C/min, com temperatura de patamar de 180 minutos e resfriados por convecção natural, desligando-se o forno, Figura 1.

Figura 1. Corpos de prova cerâmicos fabricados a partir de argila e resíduos de rochas ornamentais

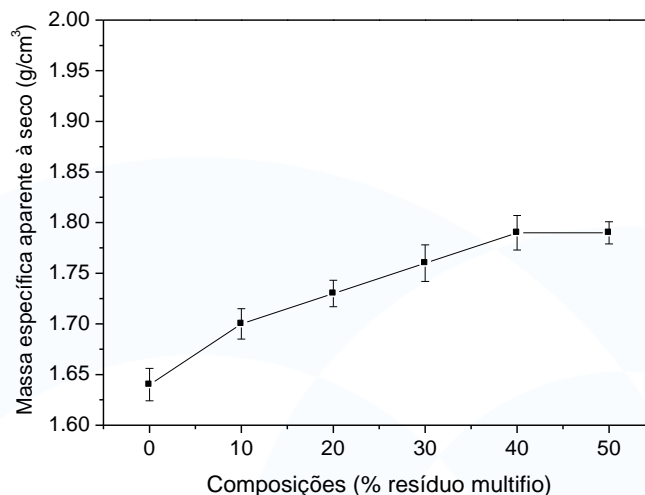


Fonte: Autor (2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o gráfico de massa específica aparente a seco das cerâmicas analisadas. É notável que a densidade a seco aumentou à medida que os resíduos foram incorporados, sugerindo uma melhoria no arranjo das partículas durante o processo de conformação.

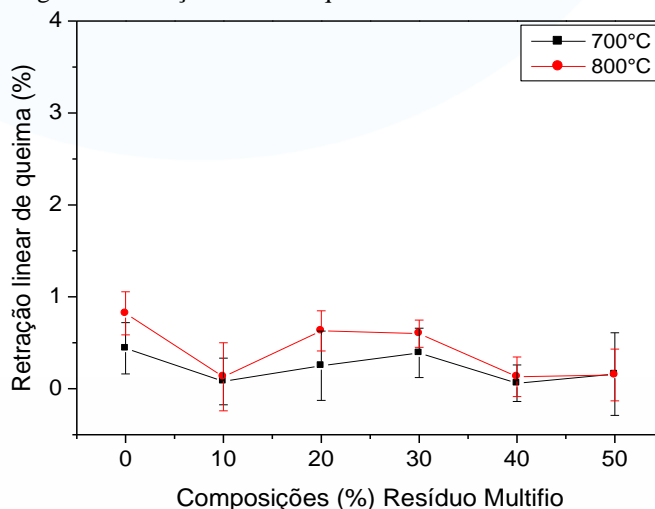
Figura 2. Massa específica aparente a seco



Fonte: Autor (2023)

A Figura 3, por sua vez, ilustra a retração linear das cerâmicas. É digno de nota que nas formulações com 10%, 40% e 50% de resíduos, houve uma redução na taxa de retração. Essa redução na retração contribui significativamente para um melhor controle dimensional das cerâmicas, além disso peças com alta retração têm maior probabilidade de desenvolver rachaduras durante a fase de queima. Além disso, as cerâmicas fabricadas a 800°C apresentaram um índice de retração mais acentuado, atribuível ao avanço no processo de densificação do material e, conseqüentemente, à diminuição da porosidade.

Figura 3. Retração linear de queima das cerâmicas estudadas



Fonte: Autor (2023)

Os resultados referentes à absorção de água e porosidade estão delineados nas Figuras 4 e 5. Observa-se que, à medida que a proporção de resíduos de rochas ornamentais foi aumentada na composição cerâmica, houve uma notável diminuição na absorção de água. Este fenômeno pode ser atribuído pelo preenchimento dos poros durante a fusão dos óxidos fundentes presentes no resíduo de granito (4,3% de K_2O e 5,4% de Na_2O), bem como o maior empacotamento a seco dessas composições e menor perda ao fogo do resíduo de granito.

Figura 4. Absorção de água das cerâmicas estudadas

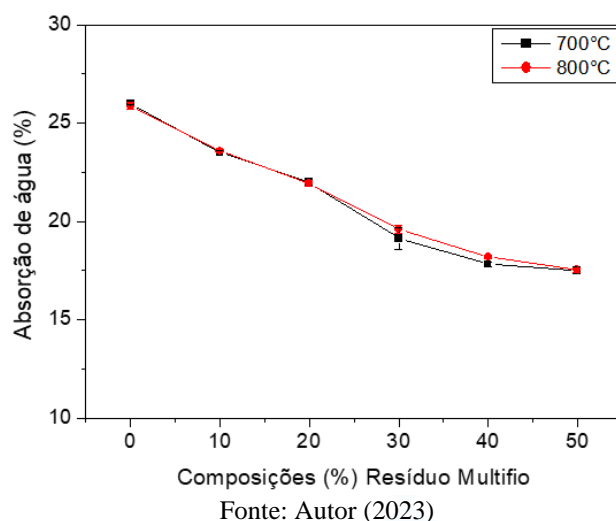
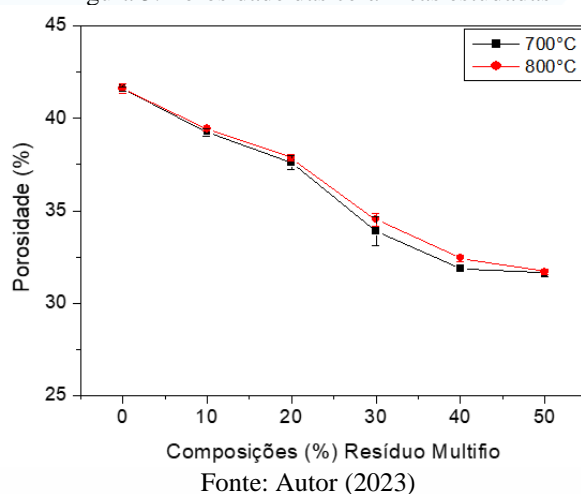


Figura 5. Porosidade das cerâmicas estudadas

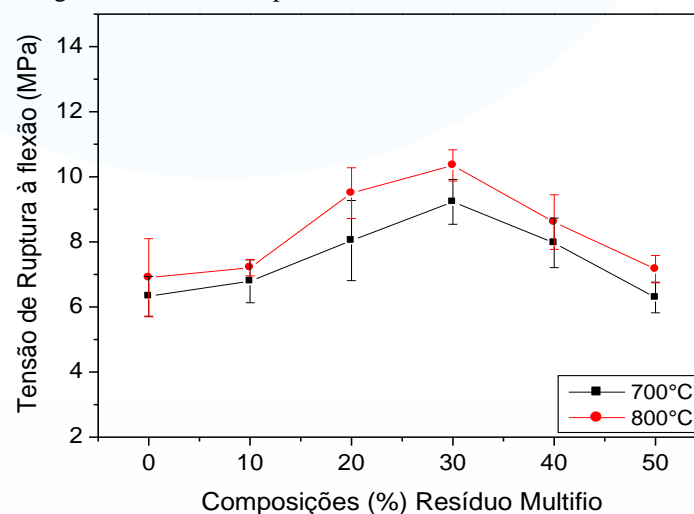


Os padrões estabelecidos pelas normas brasileiras, especificamente a ABNT NBR 15270-1 e ABNT NBR 15270-2 e a ABNT NBR 15310 (2009), estipulam limites para a absorção de água em produtos cerâmicos. De acordo com a ABNT NBR 15270-1 e 2(2017), a absorção de água para a fabricação de blocos de vedação e tijolos maciços deve se situar na faixa de 8% a 25%. A ABNT NBR 15310 (2009), por outro lado, estipula que a absorção de água em telhas não deve exceder 20%. É importante notar que as cerâmicas produzidas exclusivamente a partir de argila não atenderam a esses requisitos para a fabricação de nenhum dos materiais mencionados nas normas. No entanto, com a inclusão dos resíduos de rochas ornamentais, todas as formulações atenderam aos critérios estabelecidos para a produção de blocos de vedação e tijolos maciços, enquanto apenas as cerâmicas contendo 30%, 40% e 50% de resíduos atenderam aos padrões estipulados para a fabricação de telhas.

A porosidade das peças cerâmicas, como evidenciada na Figura 5, é fortemente influenciada pela adição dos resíduos de granito. É notável um comportamento similar entre a porosidade e a absorção de água, o que comprova a presença de porosidade aberta nas peças cerâmicas.

A Figura 6 nos apresenta os dados relativos à tensão de ruptura à flexão das cerâmicas analisadas.

Figura 6. Tensão de ruptura à flexão das cerâmicas estudadas



Fonte: Autor (2023)

É perceptível que, com a utilização de resíduos e o aumento da temperatura de queima, a resistência mecânica apresentou um aumento considerável. No entanto, é importante notar que, nas formulações com incorporações de 40% e 50% de resíduos, a resistência começa a declinar. Mesmo assim, é crucial destacar que a resistência permaneceu superior à das cerâmicas fabricadas unicamente a partir da argila pura.

Esse fenômeno pode ser atribuído ao caráter inerte do quartzo na temperatura de 700 e 800°C, mineral predominante do resíduo, bem como a eventuais trincas acarretadas pela sua transformação alotrópica.

Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 15270-1 e 2 (2017), a resistência mecânica mínima exigida para a produção de blocos de vedação é de 1,5 MPa, enquanto para tijolos maciços esse valor é de 4 MPa. É importante notar que todos os produtos cerâmicos fabricados neste estudo atenderam plenamente aos requisitos estipulados por essa norma em relação à resistência mecânica.

4 CONCLUSÕES

Podemos concluir que, dentro das faixas de temperatura investigadas, as cerâmicas produzidas com a adição de resíduos de rochas ornamentais exibiram propriedades superiores. Esse desempenho superior é resultado do aprimoramento da compactação da massa cerâmica quando incorporada com os resíduos, o que facilitou a densificação das peças, culminando na redução da absorção de água e da porosidade do material fabricado.

Além disso, observa-se que, para ambas as temperaturas de queima, as propriedades avaliadas apresentaram resultados aproximados. Isso sugere que é viável a fabricação das cerâmicas a uma temperatura mais baixa, o que, por sua vez, contribui para a redução do consumo de energia.

É crucial ressaltar que a utilização de resíduos na composição das massas cerâmicas se mostra uma alternativa altamente vantajosa. Isso se deve ao fato de que o emprego desses resíduos não apenas favorece a diminuição do uso de matérias-primas naturais, mas também contribui de maneira substancial para a mitigação do impacto ambiental associado a essa indústria.



AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES (processo 84323264 e 2022-3RGD8) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Exportações / Importações Brasileiras. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em: Jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15270-1 – Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2017.

_____. **NBR 15270-2 – Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios**. Rio de Janeiro. 2017.

_____. **NBR 15310 – Componentes Cerâmicos–Telhas–Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro. 2009.

AGUIAR, M.C.; GADIOLI, M.C.B.; SANT'ANA, M.A.K.; ALMEIDA, K.M.; VIDAL, F.W.H.; VIEIRA, C.M.F. Red Ceramics Produced with Primary Processing Fine Waste of Ornamental Stones According to the Circular Economy Model. *Sustainability*, 14(19), 12887, (2022).

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 02 Ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acessado em: Jul. 2023.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÉLLO, F. S.; SILVA, S. A.; MATTOS, F. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solocimento. In: **VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Anais. Florianópolis: ANTAC, 1998.

CAMARA, G. R; FAITANI, B. X.; SILVEIRA, L. L.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, E. S. Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem: Parte I. **Série Rochas e Minerais Industriais**, 30. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

GADIOLI, M.C.B.; AGUIAR, M.C.; VIDAL, F.W.H.; SANT'ANA, M.A.K.; ALMEIDA, K.M.; GIORI, A.J.N. Incorporation of Ornamental Stone Waste in the Manufacturing of Red Ceramics. *Materials*, 15, 5635. 2022.

GADIOLI, M.C.B.; AGUIAR, M.C.; GIORI, A.J.N.; PAZETO, A.D.A.; FERNANDES, M.C.S. Rochas aglomeradas: uma alternativa tecnológica e ambiental para a utilização dos resíduos de rochas ornamentais. **Série Tecnologia Ambiental**, 115. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

Gadioli, M. C., Agrizzi, C. P., de Aguiar, M. C., Lima, R. M., Pedruzzi, A. D., & Ribeiro, C. E. Evaluation of the contents of ornamentals stones wastes and vegetable polyurethane resin in the production of engineered stones. *Journal of Building Engineering*, 78, 107594, (2023).



GOMES, V.R.; BABISK, M. P.; VIEIRA, C. M. V.; SAMPAIO, J. A.; VIDAL, F. W. H.; GADIOLI, M. C. B. Ornamental stone wastes as an alternate raw material for soda-lime glass manufacturing. **Materials Letters**, v. 269, p. 127579, 2020

QUEIRÓZ, F.C; CASTRO, N.F. Concreto celular com Ecofíler de resíduos de mármore e granito. In: **VIII Jornada do Programa de Capacitação Institucional – PCI/CETEM**, Rio de Janeiro, 2019.