

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA SERRAGEM DE CALCÁRIO ORNAMENTAL PARA A PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Marcondes Mendes de Souza (*), João Pedro Bezerra Neto, Helen Caroline Teixeira Almeida

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, e-mail: marcondes.mendes@ifrn.edu.br

RESUMO

Nos dias atuais, vem-se percebendo um aumento considerável no volume de resíduos provenientes das indústrias de transformação e beneficiamento de rochas ornamentais, tais como: granitos, mármore, calcário, etc. Um dos motivos desse aumento é que não há na maioria dos casos estratégias de gerenciamento para os resíduos produzidos por parte dos seus geradores, o que potencializa os efeitos deletérios de impactos ambientais sobre o ambiente natural. Em vista disso, o estudo em questão tem por objetivo avaliar a produção de revestimento cerâmico utilizando resíduo ornamental de calcário proveniente da região de Apodi- RN, como componente fundente na massa cerâmica aplicada sob diferentes temperaturas de sinterização – 1100°C e 1150°C. Para isso, foram utilizadas três formulações com diferentes concentrações do resíduo de calcário, as quais após a finalização do experimento foram avaliadas quanto às características físicas. Os resultados do estudo mostraram que o resíduo de calcário se funde aos demais materiais utilizados nas formulações do revestimento cerâmico a temperaturas a cima de 1100° C, sendo 1150° C uma temperatura de sinterização satisfatória. Ademais, no geral, os resultados obtidos, com a variação na porcentagem de resíduo aplicado na confecção dos corpos de prova, comprovaram sua propriedade fundente e relação diretamente proporcional aos índices de retração linear, porosidade e absorção de água, mostrando ser mais vantajosa, a 1100° C, a F2 e, a 1150° C, a F3. Desta forma, é possível concluir que o resíduo ornamental de calcário quando aplicado na massa cerâmica como componente fundente é eficaz na produção de revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo de calcário, reutilização, material fundente, impactos ambientais, indústria cerâmica.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais. Entretanto, condizente ao crescimento da produção brasileira, há o aumento da quantidade de resíduos gerados nos processos de lavra e beneficiamento mineral, dos quais grande parte é descartada diretamente no meio ambiente ou é indevidamente encaminhada para disposição final em aterros sanitários.

A preocupação com a correta destinação dos resíduos da mineração e beneficiamento de rochas, especialmente as ornamentais, decorre desse vertiginoso e insustentável crescimento do mercado mineral, do qual, em média, 50% da massa processada é desperdiçada na condição de rejeitos industriais. Nessa perspectiva, não é incomum que lavras de rochas ornamentais detenham um reduzido potencial de aproveitamento do material lavrado, possuindo algumas apenas 10% de rendimento produtivo.

A estética, tratando-se de artefatos ornamentais, é um fator decisivo para a atribuição de valor econômico ao produto final; sendo – para rochas – textura, tonalidade e homogeneidade características determinantes do padrão ornamental. A preferência pelo bloco de rocha com melhor aspecto visual compele a recusa daqueles que, desde a extração do maciço rochoso, exibem parcelas escurecidas ou textura indesejável para a fase de beneficiamento. Materiais com essas particularidades são irrelevantes para o mercado consumidor, tornando-se resíduo para a empresa mineradora.

Ademais, são obtidas grandes frações de subprodutos finos – pó de serragem – durante as etapas de extração e esquadreamento dos blocos, resíduos esses que se dispersam facilmente pelo ambiente, concentrando-se e ocasionando danos à água, ao ar e ao solo. Efluentes líquidos também podem ser gerados junto ao pó da serragem, vindo a acarretar o assoreamento dos cursos de água que, por ventura, localizem-se próximos às pedreiras, sucedendo alterações em suas propriedades físico-químicas (coloração, turbidez, pH) e prejuízos à fauna e à flora beneficiária.

Amplamente utilizado para fins ornamentais, o calcário é uma rocha composta majoritariamente por carbonato de cálcio (CaCO₃) na forma de calcita e aragonita, havendo com frequência a substituição do cálcio por outros cátions e, com isso, formação de características diversas. Tomando por base sua origem, os calcários podem ser classificados em metamórficos e sedimentares, sendo os primeiros normalmente constituídos por: dolomita, silicatos de cálcio (actinolita/tremolita, diopsídio, epidoto), grafite e mica (SILVA, 2008).

Menezes et al. (2010) estimam que, julgando toda a cadeia produtiva, a lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais de calcário laminado (utilizado no revestimento interno e externo de pisos) proporcionem uma perda média de 70 % do total extraído das jazidas. Levando isso em consideração, a aplicação do pó de serragem na construção civil pode conceber benefícios econômicos e ambientais para a indústria de exploração mineral, reduzindo os custos de armazenamento e descarte do composto, além dos impactos ambientais adversos dele decorrentes (GALETAKIS; SOULTANA, 2015).

A indústria cerâmica, em razão do seu volume de produção, possui atualmente amplo potencial de absorção de resíduos urbanos e industriais. Nessa perspectiva, a inserção desses materiais na confecção de tijolos, telhas, blocos e revestimentos cerâmicos promove sua reciclagem e reutilização, tornando inertes determinados agentes poluentes, a exemplo dos metais pesados (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a produção de revestimento cerâmico utilizando resíduo ornamental de calcário proveniente da região de Apodi- RN, como componente fundente na massa cerâmica aplicada sob diferentes temperaturas de sinterização – 1100°C e 1150°C –, contribuindo assim, para atenuar os impactos ambientais deletérios ocasionados pelas empresas de exploração mineral do estado.

METODOLOGIA

Matérias-primas

As matérias primas utilizadas para a realização da pesquisa foram argila, feldspato potássico, quartzo e resíduo ornamental de calcário – fornecido pela empresa Limestone mármore do Brasil Ltda. –, dentre as quais algumas já foram coletadas com a granulometria adequada, tendo sido 100% de alguns dos compostos minerais passados em peneira de 200 Mesh. No entanto, vale salientar que a argila não estava com a granulometria desejada, de forma que foi necessário realizar o peneiramento em malha de 28 Mesh para a retenção de partículas maiores e assim, facilitar a passagem do material em malha de 200 Mesh – tamanho ideal das partículas.

Formulações

Para a produção dos corpos cerâmicos, foram utilizadas três formulações com diferentes quantidades dos compostos minerais – argila, quartzo, resíduo de calcário e feldspato -, a fim de identificar, após o término da experimentação, qual a formulação mais eficiente para a produção de revestimento cerâmico. Além dos compostos supraditos, foi adicionado 1,2 ml de água destilada – o que corresponde a 10% da massa total –, para a umidificação e homogeneização das partículas, conforme a tabela 1. O somatório dos quatro elementos acrescidos da água corresponde a um total de 13,2 g, sendo o necessário para a confecção de um corpo de prova.

Tabela 1: Formulações utilizadas para o preparo dos corpos de prova.

Fonte: Autoria própria.

Compostos	Formulação I (%)	Formulação II (%)	Formulação III (%)
Argila	40%	35%	45%
Feldspato	40%	45%	40%
Quartzo	10%	15%	5%
Res. de calcário	10%	5%	10%
Água destilada	10%	10%	10%

Para a realização das análises físicas, é necessário um mínimo de 10 corpos cerâmicos - tomando como referencial o recomendado pela NBR 13818 para a realização de ensaios de absorção de água (ABNT, 1997). Dado que, no processo de confecção das peças inevitavelmente ocorre a ruptura de alguns dos corpos de prova, optou-se nesse estudo por proceder com a fabricação de um número mínimo de 14 peças – para isso, o total de 13,2 g utilizado para o preparo de uma peça foi multiplicado por 15, uma vez que é necessário suprir as perdas de massa que ocorre ao longo do processo de manipulação da matéria. Além disso, como a pesquisa objetiva avaliar os corpos cerâmicos sob temperaturas de sinterização equivalentes a 1100°C e 1150°C, o total de massa adquirido a partir da multiplicação aludida anteriormente foi multiplicado novamente, só que agora, pelo número dois – referentes às duas temperaturas. Dessa forma, foram confeccionados 28 corpos de prova para cada formulação – totalizando 84 peças ao todo.

Preparo da massa cerâmica

Para início, foram selecionadas três grandes cápsulas de porcelana – com capacidade de armazenamento superior a 600 ml -, que foram identificadas de acordo com a formulação à qual foram designadas. Feito isso, deu-se início efetivamente a fabricação dos corpos de prova, com as pesagens das massas de cada elemento em balança analítica. Logo após a finalização das pesagens e completa homogeneização a seco das partículas – mistura dos materiais após a pesagem –, as formulações foram umedecidas com água destilada (10%), adquirindo consistência granulada e parcialmente seca para o processo de conformação (CERÂMICA, 2018).

Todas as composições, homogeneizadas e umedecidas, foram colocadas em sacos plásticos, para garantir a preservação da sua umidade por um período de 24 horas. Para a compactação dos corpos-de-prova (CP), utilizou-se 12 gramas da massa cerâmica com 10% de água adicionada na mesma. Em seguida, colocou-se a massa em uma matriz com dimensões de 60 a 20 x 5 mm, sendo confeccionadas 14 (quatorze) amostras para cada formulação (figura 1). A etapa de compactação mecânica consiste de prensagem em matriz uniaxial à pressão de 2,5 ton. (marca Marcon), com manutenção da pressão pelo período de um minuto para assegurar a aderência total entre partículas. A secagem dos corpos-de-prova foi realizada em uma estufa a 110°C por 24 horas, para eliminação da umidade e a efetiva consolidação da resistência mecânica à verde.



Figura 1: Corpos de prova antes da secagem. Fonte: Autoria própria.

A etapa de sinterização dos corpos-de-prova foi efetivada em forno mufla, sob atmosfera ambiente, com patamar de 60 min. e taxa de aquecimento de 10°C/min. As temperaturas de sinterização foram de 1100°C e 1150°C, e o resfriamento foi feito de forma natural, com o forno desligado e fechado até atingir a temperatura ambiente.

Além disso, vale ressaltar que, para a realização da caracterização física, os CP foram medidos e pesados em balança de precisão imediatamente após o processo de prensagem, secagem e sinterização, sendo registradas medidas como largura, comprimento, espessura, peso, peso úmido e peso imerso – sendo os dois últimos aferidos após o processo térmico de sinterização.

Caracterizações físicas dos corpos de prova

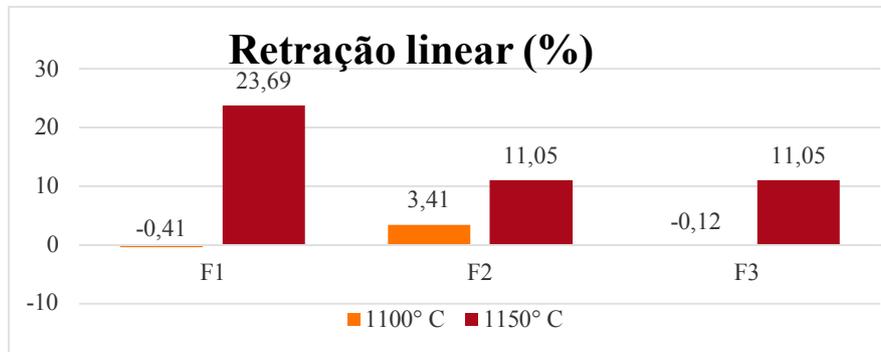
Para a realização da caracterização física dos corpos cerâmicos, foi utilizada uma quantidade mínima de 10 corpos de prova, onde foram realizados ensaios de retração linear, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente, conforme metodologia descrita por Souza (2015).

RESULTADOS

O incremento de calcário em peças cerâmicas as torna mais claras e melhora sua dilatação térmica, além de elevar sua resistência mecânica. Ademais, a adição de 1% desse composto mineral, em massa, tem poder fundente equivalente ao de 10% de feldspato, considerando temperaturas acima de 1100° C (SOARES, 2008). É esperado também que, no geral, conforme Menezes et al. (2010), a elevação da quantidade do resíduo de calcário empregado ocasiona o proporcional aumento da porosidade e do teor de absorção de água dos corpos de prova, tendo em vista a maior geração de gases durante o processo de queima.

A figura 2 representa os índices médios de retração linear apresentados pelos corpos de prova das formulações 1, 2 e 3, sinterizadas a 1100 e 1150° C. Observa-se uma nítida disparidade entre os valores obtidos, os quais indicam maior porcentagem de retração linear nos corpos sinterizados a 1150° C, principalmente aqueles pertencentes à formulação 1.

Figura 2: resultados para retração linear (%) de queima. Fonte: Autoria própria.



Isso deve-se ao fato de que as peças queimadas à maior temperatura alcançaram o estágio inicial da vitrificação e, portanto, tiveram seus componentes fundidos com maior eficiência, enquanto que, a 1100° C, os corpos sinterizados não atingiram a fase vítrea, obtendo aspecto opaco e relativamente poroso.

Tomando por base os corpos vitrificados, a taxa de retração linear da F1 e F2 foi proporcional à porcentagem de resíduo de calcário adotada, sendo maior na formulação 1 (10% de resíduo) e menor na formulação 2 (5% de resíduo), certificando sua ação fundente. A redução da retração linear na F3, embora esta possua a mesma quantidade de resíduo que a F1, pode estar relacionada ao aumento da porcentagem de argila ou diminuição do quartzo utilizado na formulação.

A ocorrência de resultados negativos a 1100° C, isto é, a expansão dimensional das peças, é explicada por Macena (2013) como efeito direto de um reduzido teor de umidade presente nos corpos de prova, ocasionando seu aumento lento e gradual após extração dos moldes de prensagem. Curiosamente, à menor temperatura de queima, a F1 apresentou menor índice de retração linear, enquanto a F2 apresentou maior redução, em parte, devido à sua maior quantidade de feldspato – material fundente – em relação às demais formulações. Sendo assim, tais valores podem indicar que a temperatura ideal de fundição para o resíduo de calcário é alcançada a cima dos 1100° C.

Relativo à porosidade aparente, como o esperado, a maior porcentagem do resíduo na F1 e F3, sinterizadas a 1100° C, provocou maior geração de gases e menor grau de reação entre as partículas durante a queima, que aliados ao processo ineficiente de fundição do material, à menor temperatura, resultou em peças altamente porosas e frágeis. O fato da F2 conter menor quantidade de resíduo de calcário e menor porosidade, pode comprovar a influência direta e proporcional entre as duas medidas. Em contrapartida, os corpos de prova sinterizados e fundidos a 1150° C demonstraram valores próximos e reduzidos de porosidade, sendo o menor deles inerente à formulação 3, como representado na figura 3.

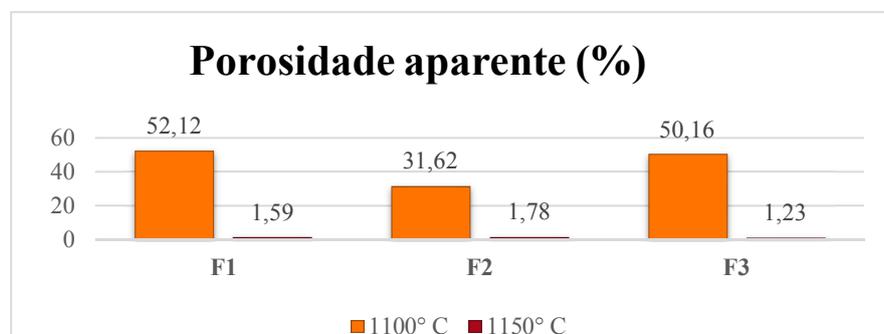


Figura 3: resultados para porosidade aparente (%). Fonte: Autoria própria.

Quanto maior a porosidade aparente de uma cerâmica, maior é a facilidade que substâncias líquidas e vapores terão de penetrar em sua estrutura. Dessa forma, os corpos de prova que apresentaram maior porosidade, consequentemente, mostraram maior índice de absorção de água, como representado na figura 4.

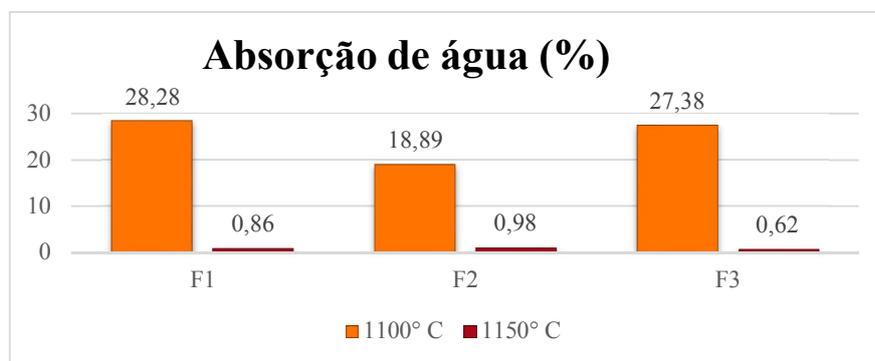


Figura 4: resultados para absorção de água (%). Fonte: Autoria própria.

Por fim, as médias de massa específica aparente, em g/cm^3 , para F1, F2 e F3 foram, respectivamente: 1,84; 1,83 e 1,90. Ademais, durante o manuseamento dos corpos de prova, notou-se maior fragilidade e ocorrência de fissuras nas peças verdes (recém-formadas) da formulação 2, enquanto constatou-se maior incidência de deformação pós-queima em peças da formulação 1, sinterizadas a 1150° C.

CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios físicos realizados, verificou-se que o resíduo de calcário se funde aos demais materiais utilizados nas formulações do revestimento cerâmico a temperaturas a cima de 1100° C, sendo 1150° C uma temperatura de sinterização satisfatória. Ademais, no geral, os resultados obtidos, com a variação na porcentagem de resíduo aplicado na confecção dos corpos de prova, comprovaram sua propriedade fundente e relação diretamente proporcional aos índices de retração linear, porosidade e absorção de água, mostrando ser mais vantajosas, a 1100° C, a F2 e, a 1150° C, a F3; possuindo a primeira qualidade inferior em relação à segunda.

A avaliação dos teores de absorção de água também permitiu classificar, de acordo com a NBR 13.817/97, as formulações sinterizadas a 1100° C em BIII e as formulações sinterizadas a 1150° C em BIb, sendo, respectivamente, cerâmicas de alta absorção e resistência mecânica reduzida (utilizadas na fabricação de azulejos) e cerâmicas de baixa absorção e elevada resistência mecânica (grês). Assim, constatou-se que os resíduos de calcário apresentam potencial de aplicabilidade na indústria do revestimento cerâmico.

Recomenda-se que sejam realizados outros estudos e ensaios laboratoriais a fim de evitar a ocorrência da retração linear nula ou negativa por meio do acréscimo de maior fração de água na massa das formulações, assim como avaliar o comportamento dos corpos de prova em temperaturas de sinterização superiores a 1150° C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SILVA, Achiles Dias Alves da. **Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri Cearense na formulação de argamassa**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <http://www3.ufpe.br/ppgeminas/images/word/achiles_dias.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- MENEZES, Romualdo Rodrigues et al. Reciclagem do resíduo da serragem de calcário laminado para produção de blocos cerâmicos. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p. 667-672, out./dez. 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/564/56416594011/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- GALETAKIS, Michael; SOULTANA, Athanasia. A review on the utilisation of quarry and ornamental stone industry fine by-products in the construction sector. **Elsevier B. V.** [S. l.], p. 769-781. 14 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815306255#>>. Acesso em: 26 ago. 2018.
- MENEZES, Romualdo Rodrigues; NEVES, Gelmires de Araújo; FERREIRA, Heber Carlos. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n2/v6n2a20.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

5. SOUZA, Marcondes Mendes de. **Estudo da adição de resíduos de quartzitos para obtenção de grés porcelanato**. 2015. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/20228/1/MarcondesMendesDeSouza_TESE%20%281%29.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2018.
6. CERÂMICA, Associação Brasileira de. **Informações técnicas - Processo de fabricação**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimentos: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 78 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 3 p.
9. SOARES, Roberto Arruda Lima. **Influência do teor de calcário no comportamento físico, mecânico e microestrutural de cerâmicas estruturais**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12659>>. Acesso em: 03 ago. 2018.
10. MACENA, Gustavo Rodrigues da. **Matriz para confecção de corpo de prova de material cerâmico para ensaio de flexão**. 2013. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)– Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1519>>. Acesso em: 28 jul. 2018.
11. SOARES, Roberto Arruda Lima. **Influência do teor de calcário no comportamento físico, mecânico e microestrutural de cerâmicas estruturais**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12659>>. Acesso em: 03 ago. 2018.
12. MENEZES, Romualdo Rodrigues et al. Reciclagem do resíduo da serragem de calcário laminado para produção de blocos cerâmicos. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p.667-672, out./dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000400011>. Acesso em: 26 jul. 2018.