

## UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO GRANITO RAIN FOREST COMO MATÉRIA-PRIMA ALTERNATIVA PARA A FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE BAIXA ABSORÇÃO DE ÁGUA

**Cabral, D. H. P. C.<sup>(1)</sup>; Nogueira, R. E. F. Q.<sup>(1)</sup>; Sasaki, J. M.<sup>(2)</sup>, Argonz, R.<sup>(1)</sup>**

(1) Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Campus do Pici, Bloco 714, Caixa Postal 12144, CEP 60455-760 Fortaleza, Ceará, Brasil. danielhenrique2000@yahoo.com.br

(2) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Física

### RESUMO

*Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a viabilidade técnica da utilização dos rejeitos do granito Rain Forest como matéria-prima alternativa para a fabricação de revestimento cerâmico de baixa absorção de água para a construção civil, reduzindo os impactos ambientais causados por eles e minimizando custos de fabricação. O rejeito foi moído e peneirado. Foi adicionada água para formar uma massa que foi prensada uniaxialmente num molde. Os corpos de prova foram secados por 24 horas e sinterizados durante uma hora em forno mufla nas temperaturas de 1155, 1165, 1175, 1185 e 1195 °C. No processo industrial, as temperaturas máximas de queima variam, em geral, entre 1180 e 1250 °C. Os pós foram analisados quimicamente por fluorescência de Raios X. A perda de massa analisada por TG foi de 1,72%. Foram encontrados picos característicos por DTA. A retração linear na queima foi de 8,5% e a absorção de água <0,5%. Com estes ensaios foi demonstrado o potencial do granito para a utilização desejada.*

Palavras-chave: Rejeito, granito, matéria-prima, grês-porcelanato

### INTRODUÇÃO

O setor de construção civil tem impulsionado uma demanda na extração de rochas naturais para fins ornamentais e de revestimento, como o mármore e o granito. Por outro lado esta atividade tem ocasionado problemas ambientais relacionada com rejeito proveniente das fases de beneficiamento destes materiais pétreos. A extração gera uma grande quantidade de resíduos, onde não há uma destinação final específica.

O ato de reciclar é atualmente visto como uma solução que permite reunir os benefícios da conservação do meio ambiente com as vantagens econômicas do reaproveitamento de substâncias e materiais, alguns escassos ou renováveis,

contribuindo assim para a prática do desenvolvimento sustentável (MONTEIRO et al., 2006).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as influências da temperatura no processamento do rejeito do granito comercial Rain Forest, extraído da Serra da Meruoca-CE, onde é utilizado como matéria-prima no processamento de revestimento cerâmico de baixa absorção de água.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização deste trabalho se fez necessária a confecção de corpos-de-prova. Na preparação desses, foi utilizado como matéria-prima o rejeito das várias etapas do processo de extração do granito comercial *Rain Forest*, proveniente de uma jazida localizada na Serra da Meruoca no Sudoeste do Ceará.

### Preparação dos corpos-de-prova

O rejeito do granito utilizado foi cedido pela empresa Granos Granitos S/A. Após recebimento, o pó do granito *Rain Forest* foi devidamente triturado e moído em moinho de bolas. Em seguida foi secado em estufa a 110°C por 24h e classificado por peneiramento para uma granulometria inferior a 200 mesh (75 µm). Com o objetivo de melhorar as condições de processamento e consistência da massa, como também fornecer ao corpo verde uma suficiente resistência mecânica para o manuseio da peça, foi adicionada água (ligante) na proporção de 5% em volume. Após a adição do ligante, a pasta foi misturada manualmente até que toda a massa tivesse uma umidade uniforme em todo o volume. Em seguida, as massas cerâmicas preparadas foram submetidas à compactação por pressão uniaxial de 50 MPa, por ação única do pistão superior, utilizando uma matriz de aço de seção 116 x 25 x 12 mm. Após a compactação os corpos-de-prova foram submetidos à secagem a 130 °C por um período de 24 horas.

O processo de sinterização dos corpos-de-prova foi realizado em forno mufla da marca EDG, modelo F-1700 do Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Ceará. Foram confeccionados um total de vinte e cinco corpos-de-prova, divididos em cinco conjuntos de cinco. Cada conjunto foi submetido por 1 h às seguintes temperaturas de queima: 1155, 1165, 1175, 1185 e

1195°C. A taxa de aquecimento utilizada foi de 5° C/min a partir da temperatura ambiente. O resfriamento se deu ao forno.

As temperaturas de queima foram estabelecidas a partir dos resultados de trabalhos realizados por pesquisadores da UFC, como os de Nogueira *et al.* (2006) e Argonz *et al.* (2007) bem como trabalhos prévios realizados pelo autor deste.

#### Fluorescência de raios X

O rejeito da extração do granito *Rain Forest* já moído e devidamente peneirado até atingir uma granulometria inferior a 200 mesh foi submetido à análise química no Laboratório de Raios X do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, por Fluorescência de Raios X (FRX), em um equipamento da Rigaku, modelo ZSX Mini II.

#### Análise Termogravimétrica (TGA) e Análise Térmica Diferencial (DTA)

As análises termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) são de grande importância nos estudos dos processos de produção de cerâmicas, sendo utilizadas para indicar as faixas de temperaturas em que ocorrem variação de massa e transformações endotérmicas e exotérmicas quando submetidos a uma variação de temperatura.

As curvas térmicas foram obtidas em um Sistema de Análises Térmicas Shimadzu TA 60h no Laboratório de Reciclagem da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A razão de aquecimento utilizada no ensaio foi de 12 °C/min em atmosfera inerte (nitrogênio) com variação de temperatura de 25 a 1000 °C.

#### Absorção de Água (ABS)

A fim de determinar a absorção de água dos corpos-de-prova produzidos, estes foram secos em estufa a 110 °C por 24 h e em seguida pesados. Após esse procedimento os corpos-de-prova foram postos sob imersão em um recipiente contendo água destilada por 24 horas. Em seguida os corpos-de-prova foram enxutos suavemente com uma flanela ligeiramente úmida e logo em seguida pesados.

Segundo a NBR 13818 (1997), a absorção de água é expressa percentualmente pela equação a seguir:

$$ABS (\%) = \left( \frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (B)$$

onde  $m_s$  é a massa do corpo-de-prova seco e  $m_u$  é a massa do corpo-de-prova úmido (saturado).

### Retração Linear (RL)

O ensaio de retração linear permite avaliar a variação dimensional linear dos corpos-de-prova após estes serem submetidos a algum processo. Neste trabalho foi avaliada a retração linear das peças produzidas sob diferentes temperaturas de sinterização. Resultados positivos indicam que houve retração, negativos, indicam expansão (LUZ, 2008). Para realização do ensaio, os corpos-de-prova foram medidos com paquímetro imediatamente após secagem e depois de submetidos à sinterização.

A retração linear das peças sinterizadas foi determinada baseando-se na norma NBR 9623 (1986), através da equação (A):

$$RL(\%) = \left( \frac{L_0 - L_f}{L_0} \right) \cdot 100 \quad (A)$$

onde  $L_0$  é o comprimento inicial do corpo-de-prova (após secagem) e  $L_f$  é o comprimento final do corpo-de-prova (após sinterização).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### Fluorescência de Raios X

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise química por fluorescência de raios X (FRX) da matéria-prima, em percentual mássico, na forma de óxidos.

**Tabela 1 – Composição química da matéria-prima (% em massa)**

Componente	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	CuO	ZrO <sub>2</sub>	ZnO
Massa (%)	73,94	9,14	8,19	4,20	3,62	0,36	0,14	0,14	0,14	0,14

Verifica-se que a matéria-prima é essencialmente constituída por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO. De acordo com Lobo (2009) os altos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtidos são típicos de rochas ígneas graníticas.

O SiO<sub>2</sub> é utilizado em massas cerâmicas com as funções de reduzir a plasticidade da massa, aumentar a permeabilidade, além de elevar o ponto de fusão, o que garante a integridade estrutural das peças após fusão. O óxido de alumínio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, apresenta alto ponto de fusão, proporcionando uma fase líquida de alta viscosidade e/ou como fase líquida transiente, o que é desejável para a obtenção de produtos com propriedades físicas e mecânicas mais elevadas. O teor de SiO<sub>2</sub> está próximo ao valor referenciado por Pinheiro (2006), entretanto o mesmo não ocorre com o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que está bem abaixo do valor de referência (20%).

O alto teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) associado a um teor considerável de óxido de cálcio (CaO) garantem um ponto de fusão em temperaturas mais baixas. Esta característica é desejável, tendo em vista que quanto menor a temperatura de processamento, menor será o consumo energético e, conseqüentemente, menor o custo de fabricação.

Para as argilas recomenda-se teor de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menor que 1,0% e dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) menor que 1,5%. Os teores desses óxidos, denominados contaminantes cromóforos, devem ser os mais baixos possíveis para garantir uma elevada brancura e também para que as peças não sofram desgaseificação em temperaturas elevadas, evitando assim um aumento na porosidade final das peças após a queima (MARUCHIN, 2007). Observa-se que o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> está muito acima do valor recomendado, sendo muito provavelmente o responsável pela coloração marrom-avermelhada característica das peças.

### Análise Termogravimétrica (TGA) e Análise Térmica Diferencial (DTA)

A Figura 1, mostra as curvas de TGA e de DTA da matéria-prima utilizada neste trabalho.

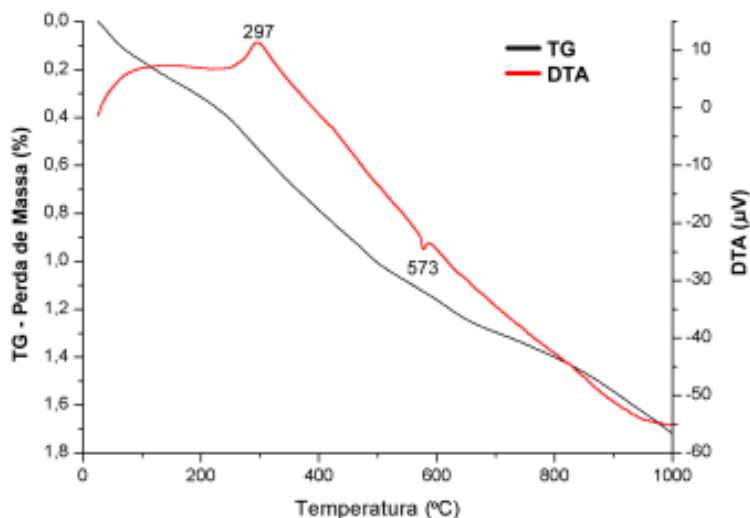


Figura 1 – TG e DTA

A amostra apresentou, de acordo com a curva de TGA, uma perda de massa total de 1,72% o que caracteriza a matéria-prima como altamente estável. Embora a perda de massa tenha se mantido relativamente constante ao longo de toda a faixa de temperatura em estudo, nota-se uma perda um pouco mais intensa entre 230 °C e 500 °C (0,64%), provavelmente devido à eliminação da água estrutural e decomposição da matéria orgânica. Este resultado é confirmado através da curva de DTA onde se verifica um pico exotérmico de média intensidade a 297 °C que pode estar associado à decomposição de alguma matéria orgânica.

A curva de DTA também apresenta um pico endotérmico de baixa intensidade a 573 °C, provavelmente correspondente a transformação da fase do quartzo  $\alpha$  em quartzo  $\beta$  (SUDÉRIO, 2005).

### Absorção de Água (ABS)

Os resultados do ensaio de absorção de água para os diversos corpos-de-prova obtidos após queima em 1155, 1165, 1175, 1185 e 1195 °C são mostrados na

Figura 2. Infere-se da figura que a absorção de água diminui com o aumento da temperatura chegando a um valor mínimo de 0,02% para a temperatura de queima de 1195 °C.

Todos os valores são substancialmente inferiores ao valor máximo para o grupo B1a (grês-porcelanato) segundo a NBR 13818 (Abs  $\leq$  0,5%). Esses resultados podem ser atribuídos à queima em temperaturas que resultam em um alto percentual de fase vítrea e uma baixa porosidade residual.

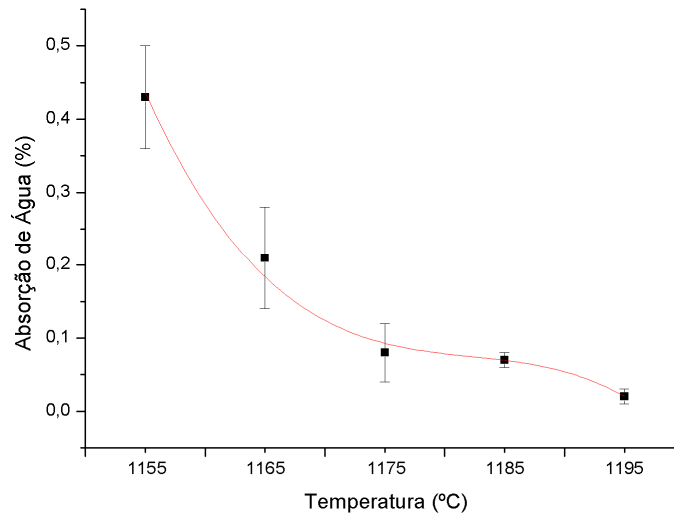


Figura 2 – Absorção de água

### Retração Linear (RL)

A Figura 3 apresenta os resultados do ensaio de retração linear para os diversos corpos-de-prova obtidos após queima em 1155, 1165, 1175, 1185 e 1195 °C.

A análise do gráfico mostra uma tendência de aumento da retração linear com o aumento da temperatura de queima. Este comportamento está relacionado, novamente, ao aumento de fase líquida que preenche progressivamente os poros abertos, provocando um melhor empacotamento das partículas, resultando em retração dos corpos cerâmicos à medida que se aumenta a temperatura de sinterização.

No entanto, o resultado para os produtos submetidos a queima a 1195 °C não manteve a tendência. Isso tem como provável causa a perda da estabilidade dimensional das peças que ocorreu gradativamente com o aumento da temperatura

de queima, fazendo com que os cantos das peças tendessem a tomar formas arredondadas, dificultando a análise de retração linear.

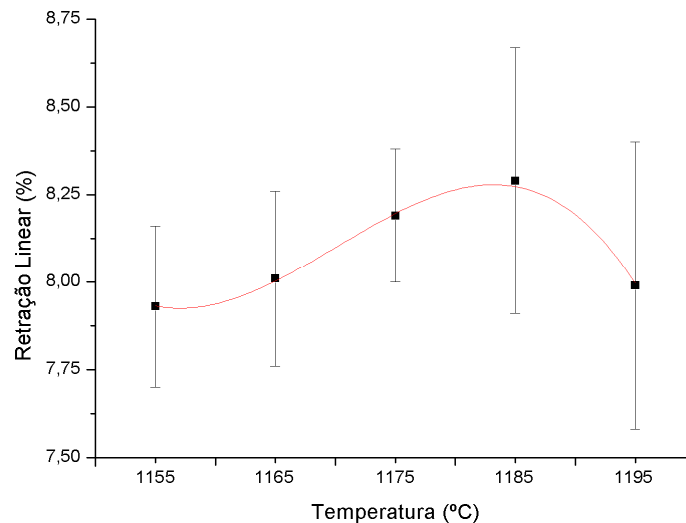


Figura 3 – Retração Linear de Queima

A instabilidade dimensional pode ter sido ocasionada por:

- aumento do volume das peças ocasionado por se ter atingido a temperatura de super-queima. Este fenômeno ocorre quando a tensão dos gases inclusos nos poros fechados supera a tensão capilar, os poros incham e a peça cerâmica aumenta de tamanho;

- excessiva redução da viscosidade da fase líquida devido as altos teores de constituintes fundentes na massa cerâmica.

Como forma de minimizar os erros causados por esta instabilidade dimensional, o comprimento de queima foi obtido pela média de três medições feitas ao longo do comprimento do corpo-de-prova.

Acredita-se que a adição de caulim à massa cerâmica, componente rico em alumina, proporcionaria um aumento da viscosidade da fase líquida formada durante o processo de sinterização, tendo em vista a alta temperatura de fusão da alumina.

## CONCLUSÕES

A partir da comparação dos dados obtidos neste trabalho com os valores estabelecidos pela NBR 13818 (1997), conclui-se que os objetivos propostos foram



atingidos, pois foi demonstrado o potencial de utilização do rejeito do granito *Rain Forest* como matéria-prima para fabricação de revestimento cerâmico de baixa absorção de água.

A utilização do resíduo de granito poderá trazer inúmeros benefícios ao meio ambiente e às indústrias beneficiadoras e de transformação, considerando-se a possibilidade da economia de recursos naturais, a ampliação da vida útil de jazidas e redução dos custos finais, além do aproveitamento dos resíduos como matérias-primas para uma série de setores industriais.

A grande quantidade de fundentes garantiu um ponto de fusão em temperaturas mais baixas (<1200 °C), o que implica menor custo energético. A cor escura (marrom avermelhada) é muito provavelmente resultado do alto teor de óxido de ferro presente na massa cerâmica.

A absorção de água dos corpos-de-prova queimados em todas as temperaturas dentro da faixa estudada foi sempre inferior a 0,5% (valor máximo para um revestimento cerâmico ser classificado como grês-porcelanato pela NBR 13818/1997). O aumento da temperatura de sinterização resultou em corpos-de-prova com menor absorção de água e porosidade aparente.

Os corpos-de-prova submetidos a 1195 °C apresentaram um início de instabilidade dimensional que pode ter sido ocasionada por: (a) aumento do volume das peças ocasionado por se ter atingido a temperatura de super-queima; (b) excessiva redução da viscosidade da fase líquida devido as altos teores de constituintes fundentes na massa cerâmica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes, ao CNPq e ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9623 - Materiais de moldagem termofixos - Determinação da contração e pós contração em corpos-de-prova moldados por compressão e injeção em forma de barras.*, 1986

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13818 - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.*, 1997.

ARGONZ, R., et al. *Caracterização de Resíduos de granito Rain Forest proveniente da Serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica*, 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador, BA, 2007.

LOBO, C. J. S. *Estudo sobre a utilização do rejeito granito Rosa Iracema como matéria-prima na fabricação de funis de saída da fiação a rotor na indústria têxtil*. Fortaleza: Dissertação de Mestrado, UFC, 2009.

LUZ, J. C. *Desenvolvimento de formulações para produção de grês porcelanato a partir de matérias-primas da região da bacia do Parnaíba*. Natal: Dissertação de Mestrado, UFRN, 2008.

MARUCHIN, S. *Influência do Talco nas propriedades de composições tipo Porcelanato*. Ponta Grossa: Dissertação de Mestrado, UEPG, 2007.

MONTEIRO, B., et al. *Reaproveitamento de lâmpada fluorescente em massa de grês porcelanato*. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006.

NOGUEIRA, R. E. F. Q., et al. *Caracterização de resíduos provenientes da extração de granitos da Serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica*. 17º CBECIMat. Foz do iguaçu, PR, 2006.

PINHEIRO, A. S. *Produção de grês porcelanato a partir de matérias-primas do Rio Grande do Norte e queima a gás natural*. Natal: Dissertação de Mestrado, UFRN, 2006.

SUDÉRIO, V. M. *Estudo do Processamento de Laminação na Fabricação de Placas Cerâmicas em Comparação com Outros Métodos Convencionais*. Campina Grande, Tese de Doutorado, UFCG, 2005.

## **USE OF 'RAIN FOREST' GRANITE REJECTS AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR THE FABRICATION OF CERAMIC TILES WITH LOW WATER ABSORPTION**

### **ABSTRACT**

*This work describes a study on the technical viability of using Rain Forest granite rejects as an alternative raw material for the fabrication of ceramic tiles with low water absorption. The aim is to employ these tiles in the construction industry, thereby reducing the environmental impact of granite residues and minimizing fabrication costs. Initially the rejects were milled and sieved. A small amount of water was added, and the mixture was subjected to compression molding. Test samples dried for 24h and then sintered for 1h in a muffle furnace at the temperatures of 1155, 1165, 1175, 1185 and 1195 °C, which compare to those used in industry ( from 1180 to 1250 °C). The starting powders were characterized by X-ray fluorescence. Total weight loss during firing was determined by TGA (1.72%). DTA characteristic*

*peaks were observed for the transition from alpha quartz to beta quartz. Linear contraction on firing was 8.5% and the water absorption measured was <0.5%. The results obtained have demonstrated the potentiality of the use granite powders for the desired application.*

Key words: rejects; granite; raw material; porcelanate.