

# Tijolos maciços com características refratárias a partir da incorporação de resíduo de mármore e granito

Deise Cristina Bildhauer<sup>1</sup>  
Fernando Roberto Bruxel<sup>2</sup>  
Eduardo Rodrigo Ramos de Santana<sup>3</sup>  
Eniz Conceição Oliveira<sup>4</sup>

## Resumo

No Brasil, a indústria de beneficiamento de mármore e granitos gera cerca de 190 mil toneladas de resíduos ao ano, atraindo a atenção de pessoas de setores distintos: ambientalistas, empreendedores, gestores, etc. Este artigo objetiva avaliar o potencial do uso de resíduos de mármore e granito na cerâmica vermelha, considerando as propriedades mecânicas dos tijolos produzidos. Corpos de prova foram preparados com concentrações de 0%, 5%, 10%, 20%, 30% e 40% em base mássica de resíduo de mármore e granito adicionado à massa argilosa. Os resultados obtidos, após os testes de resistência à compressão, à absorção de água, à retração linear e densidade de massa aparente, revelaram que se pode adicionar até 20% de resíduo à massa argilosa, sem prejudicar o produto final. Constatou-se que, com esta incorporação do resíduo de mármore e granito, o tijolo desenvolvido apresentou características refratárias que torna o produto melhor e mais competitivo. Evidenciou-se que o potencial desse tipo de resíduo pode ser empregado e possuir valor agregado, com possibilidade para a redução da taxa de uso dos recursos naturais.

**Palavras-chave:** Resíduo de mármore e granito. Massa argilosa. Características refratárias.

## Abstract

*In Brazil, the processing industry of marble and granite generates about 190,000 tons of waste per year, attracting the attention of people from different sectors such as environmentalists, managers, entrepreneurs, etc. This article aims to evaluate the potential use of marble and granite waste in red ceramic taking into account the mechanical properties of produced bricks. Specimens were prepared at concentrations of 0%, 5%, 10%, 20%, 30% and 40% marble and granite residue added to the clay mass. The obtained results, after testing the compressive strength, the water absorption, the linear shrinkage and the specific gravity, revealed that it can be added up to 20% of the clay mass waste without damaging the final product. It was noticed that the incorporation of marble and granite residues allowed the development of bricks with refractory characteristics, becoming a better and more competitive product. It was evidenced the potential use of this type of waste that can be employed and have added value, with the possibility of contributing to the reduction of usage rate of natural resources.*

**Keywords:** Granite and marble residue. Structural clay. Refractory characteristics.

1 Bacharel em Química Industrial pelo Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil. E-mail: deise\_bildhauer@hotmail.com

2 Mestre em Ambiente e Desenvolvimento pelo Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, graduado em Administração de Empresas pelo Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS. Administrador da empresa Cerâmica Bruxel Ltda, Arroio do Meio, RS, Brasil. E-mail: fernandobruzel@yahoo.com.br

3 Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil e graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. Professor no Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS. E-mail: eduardo.santana@univates.br

4 Doutora em Química Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS e licenciada em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. Professora no Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS. E-mail: eniz@univates.br

## 1 Introdução

Segundo Bergaya, Theng e Lagaly (2006), a indústria cerâmica é uma das mais antigas existentes na sociedade. É uma indústria que tem compostos formados por elementos metálicos e não metálicos, onde há 60 anos atrás, os materiais mais importantes nessa categoria eram as “cerâmicas tradicionais”, ou seja, aquelas onde a matéria-prima primária é a argila (CALLISTER JR., 2012).

Coelho e Santos (2007) afirmam que a argila é o termo utilizado para designar uma rocha constituída essencialmente por argilominerais. Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio que possuem suas estruturas cristalinas dispostas em camadas contínuas de  $(\text{SiO}_4)^{4-}$ , na forma de tetraedros condensados com folhas de hidróxidos de metais di e tri valentes. Geralmente, a dimensão dessas partículas cristalinas estão abaixo de 2  $\mu\text{m}$ .

A argila é um insumo encontrado em grande abundância, sendo, na maioria das vezes, utilizado sem processamento na sua qualidade. Os produtos mais comuns, a partir da argila, são os tijolos de construção, telhas e tubulações de esgoto (CALLISTER JR., 2012). Conforme Ferreira, Fernandes e Curi (1999), a argila é constituída de silicato de ferro e alumínio e a unidade dessas partículas forma agregados estáveis de óxidos. No entanto, essa composição pode variar de acordo com as condições geológicas em que se encontram e foram formadas. São os argilominerais presentes e seus componentes que irão conferir algumas características importantes ao material cerâmico (MIYAZAWA; BARBOSA, 2011). Santos (1989) diz que os argilominerais são os minerais característicos das argilas e, em contato com a água, vão formar uma espécie de pasta plástica que, após a secagem e queima, endurecem, fazendo assim com que essa argila seja muito utilizada para a fabricação de tijolos maciços.

O mármore é uma rocha calcária

metamórfica cristalina, composta de grânulos de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), e, mais raramente, de dolomita (DANA, 1970). Dados do Ministério da Educação (BRASIL, 2007) dão conta que o granito é uma grande quantidade de rochas silicatárias de origem tanto ígnea, quanto metamórfica que não é calcária ou dolomita. Ambas podem receber desdobramento, seguido de beneficiamento e, como decorrência, há também produção de resíduos. Cabe lembrar que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei 12.305 de 02/08/2010, remete à necessidade de aproveitar os resíduos decorrentes das atividades humanas, devendo ser disposto adequadamente, do ponto de vista ambiental, apenas os rejeitos, fração, que não pode ser empregada de forma alguma.

Na literatura científica e tecnológica, muitos autores têm incorporado resíduos de diferentes fontes e composições à massa cerâmica vermelha, dentre eles se destacam escória (BIGÉLLI, 2005), lama de mármore e granito (SILVA *et al.*, 2005), lodo de gemas (BRUXEL *et al.*, 2012; WEIZENMANN *et al.*, 2013), rochas ornamentais provenientes do tear de fio diamantado (TAGUCHI *et al.*, 2014).

Bigélli (2005) apresenta os seguintes dados, a escória de chumbo que apresenta como principais componentes o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e chumbo, foi incorporada à massa cerâmica vermelha nas composições de 0%, 5%, 7,5% e 10%. O trabalho demonstrou que a densidade, após a compactação e secagem, aumentou em 0,10  $\text{g}/\text{cm}^3$  e atingiu valores de 1,69 a 1,99  $\text{g}/\text{cm}^3$ , após a sinterização a temperaturas superiores a 900°C. Os resultados para a resistência à flexão ficaram entre 2,6 e 10,8 MPa, a porosidade aparente foi de 24,4% e a absorção de água em 11,1%.

A adição de lama de mármore e granito à massa cerâmica vermelha sinterizadas a temperaturas que variaram entre 950 e 1150°C, não comprometeram as propriedades dos corpos de prova produzidos (SILVA *et al.*, 2005). O lodo de gemas também foi adicionado

à massa cerâmica, não prejudicando a qualidade do produto final e, como cada vez mais, as indústrias de beneficiamento de mármore e granitos vêm despertando o interesse de diversos ambientalistas. Esse é um material que facilmente pode ser introduzido à produção de cerâmicas, mais satisfatoriamente, em tijolos maciços (BRUXEL *et al.*, 2012; WEIZENMANN *et al.*, 2013). Esse tipo de resíduo pode agregar maior refratariedade ao produto final, conferindo maior resistência mecânica, química e estrutural a altas temperaturas (BRASIL, 2009; RAAD, 2008). Na produção de refratários, poucos elementos químicos formam óxidos com tais propriedades como, por exemplo,  $\text{SiO}_2$ , o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o  $\text{MgO}$  e o  $\text{ZrO}_2$  (RAAD, 2008). Geralmente, esses óxidos estão presentes em boa proporção nos resíduos de mármore e granito.

Bruxel *et al.* (2012) afirmam ainda que, além de ser um resíduo de grande redução de plasticidade, pode atuar também como um bom agente de formação de fase vítrea, pois adicionado à argila, que apresenta alta plasticidade, ocorre boa distribuição do tamanho de partículas.

Resíduo de rochas ornamentais, proveniente do tear de fio diamantado, foi adicionado à cerâmica vermelha em cinco composições argilosas, contendo 0%, 20%, 40%, 60% e 80% do resíduo. O trabalho investigou diferentes condições de sinterização, obtendo como melhor condição 1100°C, por uma hora e 60% de resíduo (TAGUCHI *et al.*, 2014).

Lopes (2007) afirma que, no Brasil, existem cerca de 7.000 marmorarias, que fazem a serragem e o polimento de chapas ornamentais e essas empresas produzem anualmente cerca de 190.000 toneladas de resíduo. O estado do Rio Grande do Sul (RS) também produz muito desse resíduo, no entanto, ainda não há quantificação desse lodo (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003). Isso se deve ao fato do Rio Grande do Sul (RS) não ter muitas serrarias e somente marmorarias, as quais não têm controle do desperdício fiscalizado.

Conforme Campos *et al.* (2009), nas

diversas etapas de produção, as perdas do setor de mármore e granitos podem ser de ordem de 25% a 35%. Atualmente, as empresas ainda não têm muita preocupação com o destino dos seus resíduos, sendo esse, muitas vezes, descartado diretamente no solo, ou ainda, em vias fluviais, sem nenhum tratamento prévio o que, apesar do lodo proveniente da serragem não ser considerado resíduo perigoso, constitui um sério problema ambiental (SILVA *et al.*, 2005).

Por apresentar esse alto percentual de resíduo gerado e também por ser um setor mineral de alto crescimento em todo país e, portanto, gerar um grande impacto ambiental, este trabalho teve o objetivo de incorporar o resíduo de mármore e granito de uma empresa do Vale do Taquari à massa argilosa de uma empresa situada no mesmo Vale, para verificar a qualidade do produto final e avaliar se, com a adição desse resíduo, o tijolo produzido apresenta características mais refratárias, por se tratar de um resíduo com certo percentual de óxido de alumínio e dióxido de silício.

## 2 Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho, foram coletados dois materiais, a argila e o resíduo de mármore e granito proveniente da serragem das chapas de mármore e granito. A argila foi fornecida pela empresa Cerâmica Bruxel Ltda., de Arroio do Meio (RS), sendo que a jazida de extração da argila está localizada no mesmo município. O resíduo de mármore e granito foi fornecido pela empresa Mármore e Granitos BLV Ltda., também situada em Arroio do Meio (RS). Após a coleta, os materiais foram secados em estufa a 110°C, desagregados, manualmente, e peneirados, conforme norma técnica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984), bem como a distribuição do tamanho de partículas foi determinada por peneiramento e sedimentação de acordo com a mesma norma. A composição química das matérias-primas foi determinada por

fluorescência de raios X. Sua determinação foi feita em equipamento Philips P2400 X'Pert. A espectrometria de absorção atômica foi realizada para a análise de vanádio. Os percentuais dos óxidos foram avaliados em base calcinada a 1000°C. A composição mineralógica foi obtida por difração de raios X em equipamento Philips X'Pert Pro PW 3040/00, com radiação de cobre, operando a 40 kV e 40 mA, com  $2\theta$  variando entre 5° a 75°, passo 0,02° e tempo de contagem de 5 s/passos.

Foram preparados 300 corpos de prova, com seis composições diferentes, misturando a argila com o resíduo de mármore e granito, secados à temperatura ambiente, sendo que uma composição foi com 100% de argila e as outras com 5%, 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo de mármore e granito adicionado. Para cada composição, foram produzidos 50 corpos de prova com dimensões de 11,5 cm x 5,3 cm x 24 cm, conformados por extrusora industrial. Os corpos de prova produzidos foram levados ao secador industrial, onde permaneceram por 46 horas, a temperatura variou de 34°C na entrada e 95°C na saída, com o intuito de retirar a maior quantidade de umidade possível de dentro da massa do tijolo. No entanto, no momento em que os corpos de prova foram retirados do secador, descartaram-se os corpos de prova com adição de 40% de resíduo de mármore e granito, isso porque, após serem secados esses corpos de prova ficaram muito quebradiços e sem resistência para continuar no meio produtivo. Após a secagem, os corpos de prova foram levados para um forno túnel para serem sinterizados, e ali permaneceram, durante 44 horas, à temperatura de 80°C na entrada e 76°C na saída. Após a sinterização, os tijolos foram resfriados à temperatura ambiente para posterior análise do produto final. Para a avaliação do produto obtido, foram realizadas análises de retração linear, com paquímetro Universal 300 mm Tramontina, as medições foram feitas em três etapas da produção, uma, quando os tijolos saíram da extrusora,

outra, após a secagem e, uma última medida, após a queima dos mesmos. As análises de absorção de água foram realizadas em balança de precisão Bel Eng. M1702 e estufa Biopar, o teste de densidade de massa aparente foi feito pelo método de Arquimedes, com auxílio de balança de precisão Bel Eng. M1702, os testes de resistência à compressão foram realizados em uma prensa Solotest com curso máximo 30 mm, com indicador digital e bomba Emerson B com 10.000 psi de capacidade máxima, o teste de resistência a altas temperaturas foi realizado em forno mufla Altronic Zezimaq com alcance de 1200°C (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983a, 2005b, 2012). Todos os testes avaliados foram realizados em triplicata. A figura 1 sumariza os procedimentos metodológicos empregados.

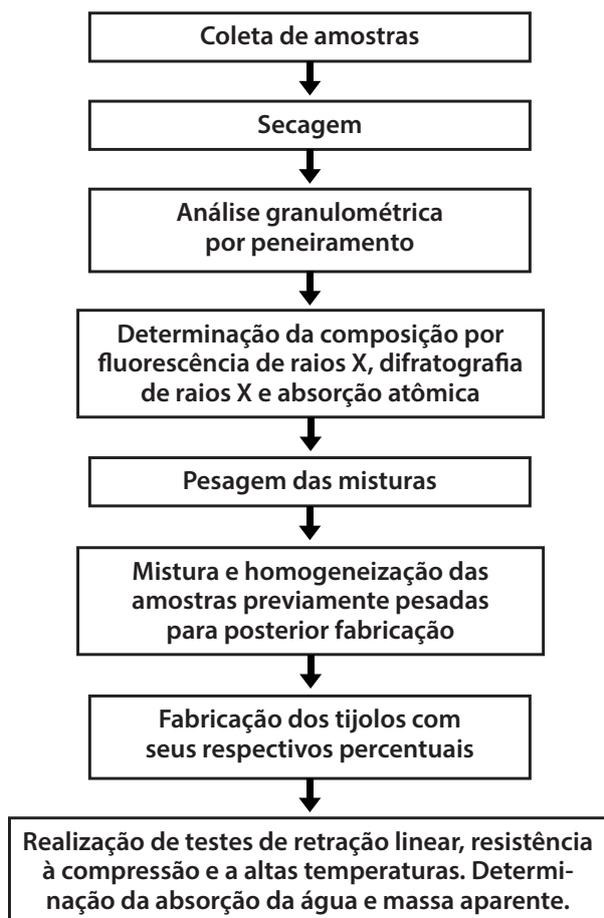


Figura 1 – Arranjo esquemático dos métodos empregados  
Fonte: Os autores (2015).

### 3 Resultados e discussões

A tabela 1 apresenta a composição química da argila e do resíduo de mármore e granito, sendo que os resultados da composição química da argila são os mesmos do trabalho, anteriormente apresentado pelo grupo de pesquisa (BRUXEL *et al.*, 2012; BRUXEL, 2011), pois o material foi retirado da mesma jazida, localizada na bacia do Rio Forqueta (localiza-se, em sua maior parte, na região do Vale do

Taquari, RS) (PÉRICO; CEMIN; MOHR, 2012). A composição da argila, utilizada neste estudo, diverge de outro trabalho realizado pelo grupo (WEIZENMANN *et al.*, 2013) que utilizou uma jazida pertencente à mesma bacia, porém, localizada em outra cidade do Vale do Taquari (RS) e do trabalho de outros autores (SILVA *et al.*, 2005). Tais divergências podem ser explicadas por se tratarem de jazidas diferentes, as quais, conseqüentemente, apresentam diferentes composições de argilominerais.

Tabela 1 – Composição química da argila e do resíduo de mármore e granito

| Amostras       | Composição em massa (%)        |      |                                |                  |      |      |                   |                               |                  |                  |      |
|----------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------|
|                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | MgO  | MnO  | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | PF*  |
| <b>Argila</b>  | 15,13                          | 0,98 | 12,15                          | 1,52             | 0,78 | 0,25 | 0,75              | 0,23                          | 58,96            | 1,86             | 7,4  |
| <b>Resíduo</b> | 15,12                          | 4,94 | 4,41                           | 4,88             | 2,04 | 0,06 | 3,08              | 0,43                          | 61,86            | 0,67             | 2,52 |

PF\*: Perda ao Fogo.

Fonte: Os autores (2015).

Como pôde ser observada, a argila é composta basicamente de sílica e alumina, com percentuais de 58,96% e 15,13%, respectivamente. Xavier *et al.* (2009) ponderam que também deve ser levado em conta a alta concentração de óxido de ferro (12,15%), que, no momento da queima do tijolo, vai caracterizar a sua coloração avermelhada. A perda ao fogo (7,4%) da argila está relacionada com a perda de voláteis, queima de material orgânico, decomposição de carbonatos, perda de água e desidratação de hidróxidos (SILVA *et al.*, 2005; XAVIER, 2009), no entanto, esse valor, considerado baixo, confirma o elevado percentual de (SiO<sub>2</sub>). Em estudos com argilas, oriundas das bacias hidrográficas do Rio Paraíba, Mamanguape e Taperoá, na Paraíba (PB), utilizadas para a produção de blocos cerâmicos, os autores obtiveram resultados para a composição química diferenciada deste trabalho, com valores que variaram entre 22,74 e 30,8% para o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 0,11 a 0,23% para o CaO, de 5,8 a 7,57% para o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 49,37 a 57,35% para SiO<sub>2</sub> e perda ao fogo que variou entre 8,61 e 10,92% (MACEDO *et al.*, 2008). O que demonstra que, mesmo pertencendo à mesma

bacia, jazidas diferentes podem apresentar composições diferenciadas.

Assim, o resíduo de mármore e granito é constituído predominantemente também por sílica e alumina, óxidos que conferem maior refratariedade ao produto final. A presença do óxido de ferro (4,41%) pode estar relacionada com a granalha, normalmente utilizada no corte e polimento dessas chapas de mármore ou granito. A perda ao fogo do resíduo (2,52%) é mais baixa do que o esperado para um material composto teoricamente em sua maioria por calcita (CaCO<sub>3</sub>) (SILVA *et al.*, 2005). Isso pode indicar a presença de outros materiais, contendo cálcio, com grupos não voláteis.

A figura 2 apresenta resultados da distribuição granulométrica dos materiais utilizados. Conforme pode ser avaliado, a argila e o resíduo de mármore e granito têm granulometrias bastante distintas. Essa análise granulométrica foi feita com peneiras, onde a menor apresentava um diâmetro de 0,075 mm. Pode-se observar, então que, cerca de 89% do resíduo de mármore e granito se encontra em uma fração, que é inferior a 0,075 mm, o que lhe confere uma granulometria mais fina que a

da argila, que tem toda a sua porção na fração areia. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos anteriores (SILVA *et al.*, 2005; WEIZENMANN *et al.*, 2013; BRUXEL, 2011).

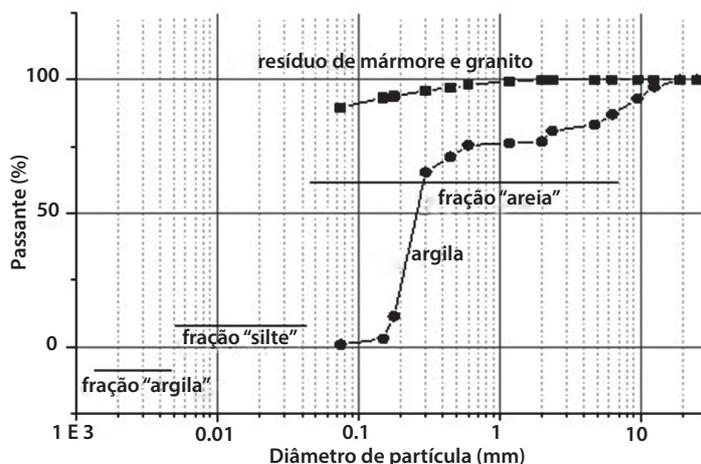


Figura 2 – Distribuição granulométrica dos materiais  
Fonte: Os autores (2015).

Para definir esses parâmetros, “argila” considerada abaixo de 0,002 mm, “silte” (0,002 a 0,02 mm) e “areia” (de 0,02 a 2 mm) foram usadas como referências descritas na literatura (CAMPOS *et al.*, 2009; XAVIER, 2009; QUEIROZ; MONTEIRO; VIEIRA, 2010). Os difratogramas de raios X da argila e do resíduo de mármore e granito estão apresentados na figura 3.

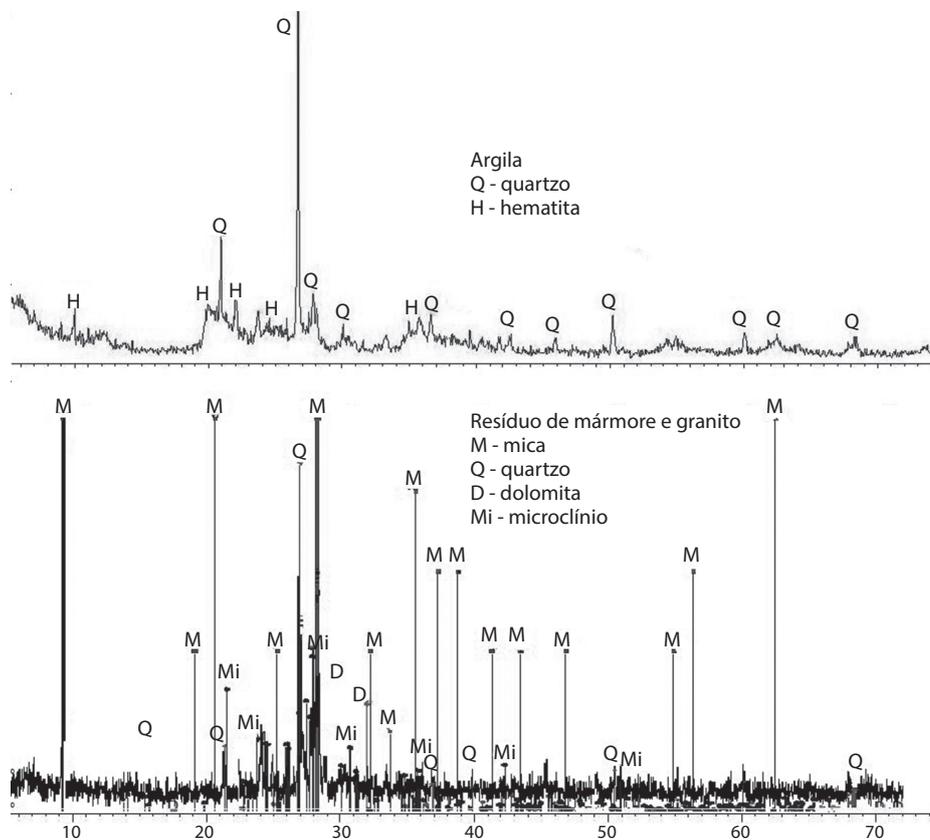


Figura 3 – Difratogramas de raios X da argila e do resíduo de mármore e granito  
Fonte: Os autores (2015).

Observa-se que a argila é composta, em sua maioria, por quartzo e, em quantidade menor de hematita que, com o óxido de ferro, confere coloração vermelha ao tijolo. No resíduo de mármore e granito, pode-se observar predominância de mica, seguida pelo quartzo, tendo ainda a presença de dolomita e picos menores, porém, em grande quantidade de microclínio, o que já era de se esperar, uma vez que esses são os principais constituintes das rochas graníticas e dos mármore. A partir da figura 3, pode-se inferir a ausência da fração argila na figura 2, à grande presença de partículas de mica (resíduo), cuja anisometria pode ter induzido o equipamento a classificá-las como partículas de tamanhos superiores (MACEDO, 2008).

A retração linear dos corpos de prova não é regida por nenhuma norma, no entanto, as medidas dos tijolos, depois de sinterizados, são padronizadas

pelos normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Nesse caso, é essencial determinar o percentual de retração do tijolo para poder adequar o mesmo às medidas normatizadas. Quanto menor a retração, melhor para o processo de produção dos tijolos, principalmente na secagem, pois, os riscos de ocorrerem trincas serão menores (BRUXEL *et al.*, 2012).

A retração linear dos corpos de prova pode ser observada na figura 4. Para essa análise foram feitas três medidas, com o tijolo recém-saído da extrusora, após secagem e após a queima. Observou-se que, quanto mais resíduo de mármore e granito adicionado à massa cerâmica, menor foi a retração do tijolo. Ainda, observou-se que o tijolo retrai mais no processo de secagem do que no de queima propriamente dito, por isso esse processo é de extrema importância no meio produtivo.

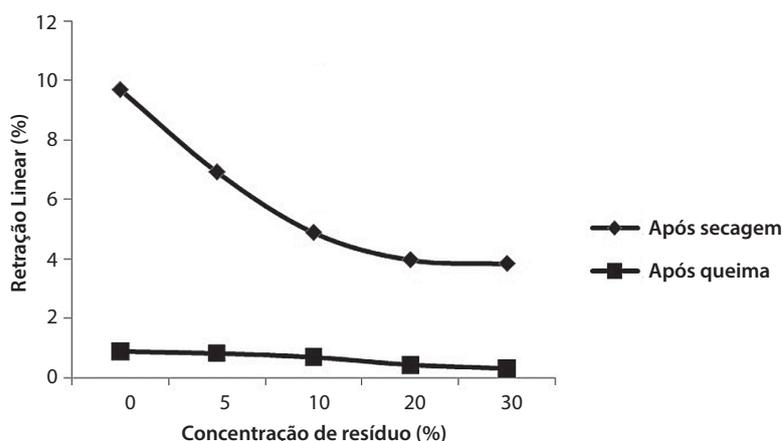


Figura 4 - Resultados de retração linear  
Fonte: Os autores (2015).

A tabela 2 apresenta os resultados das análises de resistência à compressão, absorção de água e massa específica, para os corpos de prova, com diferentes quantidades de resíduo de mármore e granito, adicionado à massa cerâmica. A resistência à compressão diminuiu, conforme aumentou a adição de resíduo de mármore e granito. Isso se deve ao aumento do grau de ruptura e de porosidade justamente em função da maior proporção de resíduo. De acordo com a Associação Brasileira

de Normas Técnicas (1983b, 2005a), os tijolos maciços são classificados, dependendo da resistência que, atingirem em categorias A, B e C (tabela 3). Assim sendo, pode-se verificar, levando em conta as informações das tabelas 2 e 3, que somente o T30, com adição de 30% de resíduo de mármore e granito, não se enquadra em nenhuma categoria. A absorção de água aumentou, conforme a elevação do percentual de resíduo, adicionado à massa cerâmica. Isso se deve ao aumento da porosidade do produto

final, à medida que se aumenta a adição de resíduo e, assim sendo, aumenta a possibilidade de retenção de água dentro do tijolo maciço.

Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos anteriores (BRUXEL, 2011; BRUXEL et al., 2012; WEIZENMANN et al., 2013).

Tabela 2 – Características dos corpos de prova, após a queima com diferentes percentuais de resíduo adicionado

| Denominação | Resistência à compressão (MPa) | Absorção de água (%) | Densidade de massa aparente (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------|--|
| T0          | 10,43 ± 0,13                   | 18,42 ± 0,69         | 1,92 ± 0,002                                     |
| T5          | 8,09 ± 0,20                    | 18,92 ± 1,09         | 1,88 ± 0,06                                      |
| T10         | 6,63 ± 0,18                    | 19,11 ± 1,14         | 1,84 ± 0,003                                     |
| T20         | 2,31 ± 0,21                    | 19,28 ± 0,85         | 1,83 ± 0,007                                     |
| T30         | 0,98 ± 0,98                    | 19,91 ± 0,39         | 1,81 ± 0,02                                      |
| T40         | Não se aplicou                 | Não se aplicou       | Não se aplicou                                   |

Valor médio ± desvio padrão.

Fonte: Os autores (2015).

Tabela 3 – Classificação dos tijolos quanto à resistência à compressão (NBR 15270-3)

| Tipo | Resistência à compressão (MPa) |
|------|--------------------------------|
| A    | 1,5                            |
| B    | 2,5                            |
| C    | 4,0                            |

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005b).

A absorção de água não é estipulada nas NBRs que regem o tijolo maciço, no entanto, foi utilizada norma técnica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a) que trata sobre blocos cerâmicos para alvenaria de vedação, a qual permite absorção de água entre 8% e 22%, portanto todos os corpos de prova seriam aceitos, conforme legislação. Quanto à densidade de massa aparente, observa-se que, quanto mais resíduo de mármore e granito adicionado, menor foi o valor de densidade de massa aparente, confirmando trabalhos realizados anteriormente (BRUXEL et al., 2012; WEIZENMANN et al., 2013), e da literatura (SOUZA et al., 2013). Analisando a norma técnica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983b), que trata do valor mínimo de densidade de massa aparente, devendo ser de 1,70 g/cm<sup>3</sup>, pode-se concluir que todas as composições ficaram dentro dos parâmetros exigidos, corroborando o trabalho de Silva et al. (2005).

Na figura 5, observa-se a resistência dos tijolos às altas temperaturas, a partir da adição do resíduo de mármore e granito. Quanto mais resíduo adicionado ao tijolo, mais resistente ele ficou a altas temperaturas. Isso somente não se confirmou nos corpos de prova com adição de 30% de resíduo de mármore e granito, ocorrência que pode ter como explicação, o fato desse tijolo, em sua forma original, não ter uma compactação tão eficiente e, assim, mais suscetível à ruptura em altas temperaturas. Mesmo assim, todas as formulações com adição de resíduo de mármore e granito, apresentaram características mais refratárias que o tijolo maciço normal, sem adição de resíduo. Isso, provavelmente, se deve ao fato do resíduo de mármore e granito ter alto percentual de óxido de alumínio e dióxido de silício, óxidos com propriedades refratárias (BRASIL, 2009; RAAD, 2008).

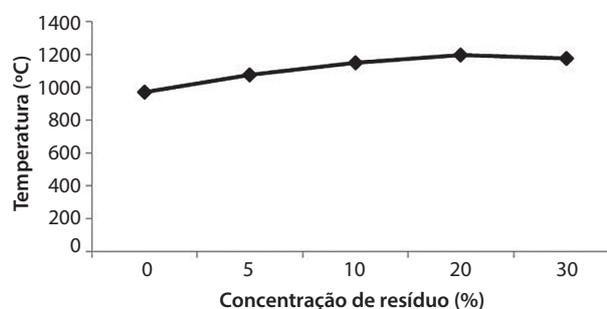


Figura 5 – Resistência dos tijolos submetidos a altas temperaturas  
Fonte: Os autores (2015).

A composição com incorporação de 40% de resíduo de mármore e granito não foi aproveitada, pois, quando esses corpos de prova foram retirados do secador, estavam completamente rachados e quebradiços. Quando colocados para descarte, chegaram a se desmanchar por completo. Observa-se, então que, não se podem adicionar quantidades superiores a 20% de resíduo à massa argilosa, por ela já ter um percentual de areia, de aproximadamente 30%, adicionado à massa argilosa. Essa adição é feita pela empresa Cerâmica Bruxel Ltda., para equilibrar a massa para a produção de tijolos, pois, segundo informação obtida com a referida empresa, se fosse usado argila pura, a massa cerâmica ficaria muito plástica e resistente. No entanto, trincaria logo na secagem, assim que esses tijolos saíssem do forno. Caso essa adição não fosse feita na argila, acredita-se que poderia haver um percentual de incorporação maior de resíduo de mármore e granito.

Ressalta-se a importância da utilização do resíduo de mármore e granito na massa cerâmica vermelha, visto que os corpos de prova, produzidos com até 20% desse material, apresentaram características refratárias, trazendo benefícios, tanto para a empresa fornecedora de resíduos, Mármore e Granitos BLV Ltda., como para a usuária desse material, Cerâmica Bruxel Ltda. Portanto, fica evidenciado o potencial de emprego desse tipo de resíduo, que passa a ter utilidade e maior valor agregado, com a possibilidade de contribuir para a redução da taxa de extração dos recursos naturais. Ressaltando, ainda, que esse resíduo, que possui baixa perda ao fogo, significando menor quantidade de voláteis.

Materiais refratários, contendo carbono, têm sido incorporados à massa cerâmica, porém necessitam de mais estudos para que sejam atingidas novas metas de sustentabilidade ambiental, devido à liberação de compostos voláteis nocivos à saúde (BITENCOURT; PANDOLFELLI, 2013).

O estudo de materiais alternativos que possam substituir os refratários convencionais, tais como aqueles que contêm óxidos de cromo, que podem liberar  $\text{Cr}^{6+}$ , comprovado agente carcinogênico (LEE; MOORE, 1998; MARINO, 2004), torna-se de relevada importância nos tempos atuais.

#### 4 Conclusão

A argila utilizada no estudo apresenta elevado percentual de  $\text{SiO}_2$  (58,96%) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (12,15%), o que lhe confere propriedades para a sua utilização como cerâmica vermelha. A inexistência de fração argila no resíduo estudado, deve-se, provavelmente, à grande quantidade de mica no mesmo. O resíduo de mármore e granito apresenta elevado percentual de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,12%) e  $\text{SiO}_2$  (61,86%) o que favoreceu as características mais refratárias apresentadas pelos corpos de prova em estudo. De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que é possível adicionar concentrações bastante relevantes de resíduo de mármore e granito à massa argilosa, sem prejudicar a qualidade do produto final. Indica-se a incorporação de até 20% de resíduo de mármore e granito na massa cerâmica vermelha. Conclui-se ainda, que a incorporação desse tipo de resíduo melhora as características refratárias em comparação a um tijolo maciço normal. Essa característica obtida, torna-se muito importante, pois aumenta o campo de venda e utilização do produto final.

#### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6115**: materiais refratários isolantes conformados: determinação da densidade de massa aparente. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 6460**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983a.

- \_\_\_\_. **NBR 7170**: tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983b.
- \_\_\_\_. **NBR 7181**: solo: análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
- \_\_\_\_. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- \_\_\_\_. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005b.
- BERGAYA, F.; THENG, B. K. G.; LAGALY, G. **Handbook of clay science**. Amsterdam: Elsevier, 2006.
- BIGÉLLI, E. M. **Utilização de escória de chumbo em massa cerâmica vermelha**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- BITENCOURT, C. S.; PANDOLFELLI, V. C. Refratários contendo carbono: propriedades, características e variáveis em sua composição. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 349, p. 84-114, 2013.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. **Rochas ornamentais**. Brasília, 2007. (Cartilhas temáticas).
- \_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Refratários**. Brasília, 2009. (Relatório técnico, 71).
- BRUXEL, F. R. **A problemática dos resíduos provenientes do setor de gemas**: avaliação da incorporação de lodo de gemas na massa cerâmica. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2011.
- \_\_\_\_ et al. Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, p. 211-215, 2012.
- CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- CAMPOS, A. R. et al. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. IN: Simpósio de Geologia do Nordeste, 23., 2009, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p. 16-25.
- COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 146-152, 2007.
- DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 515-524, 1999.
- LEE, W. E.; MOORE, R. E. Evolution of in situ refractories in the 20th century. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 81, n. 6, p. 1385-1410, 1998.
- LOPES, J. L. M. **Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como filler, nas propriedades do concreto**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
- MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 332, p. 411-417, 2008.

- MARINO, M. Elimination of the hexavalent chromium risk on used refractories: experiences with alternative refractories in the various fields of use. **La Metallurgia Italiana**, Milano, v. 96, p. 11-12, 2004.
- MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. C. Efeitos da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 680-685, 2011.
- MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, n. 312, p. 262-267, 2003.
- PÉRICO, E.; CEMIN, G.; MOHR, L. R. S. Fisiografia da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, Sul do Brasil. **Scientia Plena**, v. 8, n. 9, 2012.
- QUEIROZ, L. F. T.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 56, p. 279-284, 2010.
- RAAD, H. J. **Influência das condições de mistura e moldagem na permeabilidade de concretos refratários aluminosos**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais de Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**, São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- SILVA, J. B. *et al.* Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, p. 325-330, 2005.
- SOUZA, A. E. *et al.* Adição de rocha sedimentar às argilas cauliniticas: influência no processo de sinterização. **Cerâmica**, São Paulo, v.59, n. 349, p. 147-155, 2013.
- TAGUCHI, S. P. *et al.* Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 354, p. 291-296, 2014.
- XAVIER, G. C. *et al.* Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. **Cerâmica**. São Paulo, v. 55, n. 333, p. 1-10, 2009.
- WEIZENMANN, M. *et al.* Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha: um estudo de caso. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 351, p. 442-447, 2013.

