

## O Estudo da Diminuição da Rugosidade da Superfície de Telhas Cerâmicas

**Paulo Fernandes<sup>a\*</sup>, Karina Donadel<sup>a</sup>, Vitor de Souza Nandi<sup>a</sup>, Pedro Mantas<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE, CEP 88845-000, Cocal do Sul, SC, Brasil

<sup>b</sup>Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica, Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos – CICECO, Universidade de Aveiro, 3810-193, Aveiro, Portugal

\*e-mail: [fernandes.paulo@ua.pt](mailto:fernandes.paulo@ua.pt)

**Resumo:** As telhas cerâmicas conformadas por prensagem apresentam em sua superfície um aspecto visual rugoso indesejado, que afeta diretamente a qualidade estética do produto. O objetivo desse trabalho é estudar a possibilidade de diminuir a rugosidade sem alterar o processo de produção e mantendo as mesmas propriedades físicas do produto. Para estudar a rugosidade, foi analisado o processo de fabricação da telha e também suas matérias-primas com o intuito de identificar uma possível causa de formação da rugosidade. A telha foi caracterizada por microscópica eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X, onde foi possível observar a presença de grãos grosseiros de areia exposta na superfície da telha. Baseado nesta informação, foi proposto a reformulação da massa substituindo a fração arenosa por chamote queimado (quebra cerâmica), sendo este um material de características inerte. Os corpos-de-prova foram conformados por extrusão e queimados em condições fabris em uma temperatura média de 970 °C. Os corpos-de-prova foram analisados e comparados com a amostra padrão. A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que a diminuição ou eliminação da areia é possível obter uma superfície com um índice de rugosidade menor sem alterar significativamente as características da telha.

**Palavras-chave:** rugosidade, telha, cerâmica vermelha.

### 1. Introdução

O segmento de cerâmica vermelha integra o ramo de produtos de minerais não metálicos da indústria de transformação, incluindo também outras indústrias, como as de cerâmica de revestimento, sanitários, indústria vidreira e cimenteira que formam o complexo da construção civil. O ramo de atividade da cerâmica vermelha é a produção de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos, revestimentos, e tubos. Em geral para a fabricação destes são utilizadas argilas plásticas e arenosas podendo ter introdução de areias e subproduto cerâmico como o chamote queimado (quebra cerâmica)<sup>1</sup>.

A rugosidade superficial pode ser definida como um conjunto de irregularidades com pequenas saliências e reentrâncias, que caracteriza uma determinada superfície. No caso de revestimentos cerâmicos, a rugosidade afeta diferentes propriedades como a ótica, durabilidade química, resistência ao desgaste por abrasão, retenção de sujeira, facilidade de limpeza, entre outras<sup>2,3</sup>. A rugosidade superficial em telhas é um problema não mencionado na literatura, porém afeta muitas de suas propriedades. O aspecto rugoso observado através do tato e análise visual na superfície de telhas é considerado um fator relevante na decisão de compra do produto sendo este um problema para empresas de cerâmica vermelha que trabalham com matérias-primas grosseiras.

Este estudo foi desenvolvido em parceria com a empresa Sotelha de Portugal. O objetivo deste trabalho foi estudar a redução e, se possível a eliminação da rugosidade sem alterar o processo de fabricação da telha. Em sua etapa de fabricação, a telha cerâmica já apresenta rugosidade visível durante o processo de secagem, destacando-se principalmente na queima. Para procurar minimizar este problema, foi analisado o processo de fabricação e também as matérias-primas introduzidas na composição da telha da Cerâmica Sotelha, visando identificar se a rugosidade era proveniente desses fatores. Para minimizar o problema estudou-se uma nova composição da massa substituindo a areia por um material alternativo, denominado chamote queimado (quebra cerâmica).

A falta de chamote na indústria poderia ser um problema futuro, porém sabe-se que esta perda nunca será zero, ou seja, sempre existirá um percentual de perdas na indústria, denominada perda natural<sup>4</sup>.

### 2. Metodologia Experimental

O chamote, a areia e as argilas utilizadas nas composições da massa foram fornecidas pela empresa Sotelha S.A. (Aveiro – Portugal), sendo o chamote queimado oriundo do processo de fabricação das telhas. O chamote foi moído separadamente em um britador de mandíbulas e posteriormente em um moinho de martelos até obter um pó fino. O restante das matérias-primas foi coletado no estoque de armazenagem da empresa. Foram utilizados dois tipos de argilas, sendo uma argila de cor avermelhada, uma argila magra de cor amarelada e areia.

A Tabela 1 mostra as formulações desenvolvidas no trabalho. A preparação das formulações foi feita misturando-se manualmente o chamote moído, as argilas e a areia em um recipiente onde foram umificados com até 19% de água. A homogeneização da massa foi realizada na própria extrusora passando todo o material úmido três vezes sem vácuo e uma última passagem com vácuo para obter os corpos-de-prova para os ensaios.

A dimensão dos corpos-de-prova foi de 150 × 33 × 10 mm. Após conformação, foram mantidos em temperatura ambiente por 24 horas e em seguida colocados em estufa de secagem com temperatura média de 110 °C.

Os corpos-de-prova secos foram queimados em forno túnel em condições fabris, sendo esse o mesmo forno da produção das telhas. As condições de queima foram às seguintes: temperatura de queima de 933 °C com patamar de 3 horas e taxa de aquecimento de aproximadamente 1,3 °C/min, para um ciclo de queima de 24 horas. A temperatura real do forno em média foi de 970 °C no patamar.

Os corpos-de-prova foram submetidos a diferentes ensaios, entre eles a determinação da retração linear (verde, após secagem e após queima), a medida da umidade inicial e a perda ao fogo. A resistência

mecânica à flexão com o método dos três pontos foi determinada por meio de uma máquina universal de ensaios (Shimadzu – autograph AG-25TA), com célula de carga de 1 kN e velocidade de 0,5 mm/min. Os resultados obtidos correspondem à média dos valores de dez corpos-de-prova para cada teste.

Com os corpos-de-prova quebrados foi determinada a absorção de água. Nesse mesmo procedimento pôde-se determinar a porosidade e a densidade aparente pelo método de Arquimedes.

As análises microestruturais foram feitas por meio de um microscópio eletrônico de varredura (equipamento HITACHI SU-70, EDS acoplado). Para a identificação das fases presentes no material foi realizada análise por difração de raios X (DRX) (modelo Rigaku Geigerflex, com radiação  $K\alpha$  do Cu,  $\lambda = 1,54059 \text{ \AA}$ ).

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra o padrão de difração de raios X da telha queimada. Pode-se observar a presença de quartzo, de feldspato potássico e de mica. O quartzo é fundamentalmente proveniente da areia introduzida no processo e tem a função de diminuir a

plasticidade, aumentar a permeabilidade da peça a verde e controlar a retração<sup>5</sup>. O feldspato potássico ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) tem um grande emprego por ter temperatura de fusão relativamente baixa e assim formar fase líquida nas pastas cerâmicas<sup>5</sup>.

A muscovita ( $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ), também conhecida como mica branca, muitas vezes é considerada como impureza na cerâmica de argila vermelha, pois apresenta uma granulometria alta. O seu alto ponto de fusão torna-a inerte, sendo liberada para a superfície da peça após queima<sup>5</sup>.

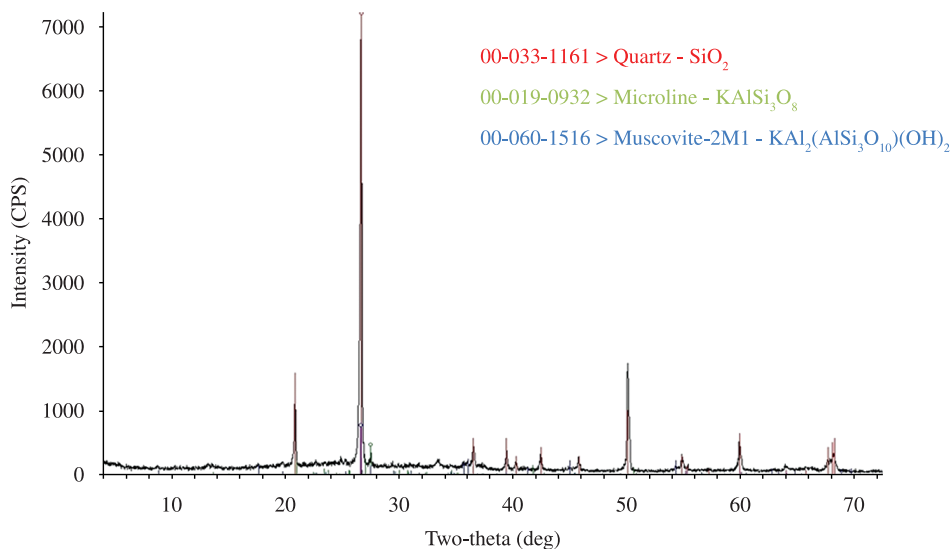
A Tabela 2 apresenta a composição química obtida por EDS da superfície da telha. A zona estabelecida para fazer a análise corresponde a da Figura 2. Pode-se constatar através da observação da tabela a presença de potássio proveniente do feldspato potássico encontrado na análise mineralógica.

A Figura 2 apresenta a microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a telha queimada na temperatura de 970 °C. Pode-se observar a formação de fase líquida na microestrutura da peça.

Na Figura 3 é possível observar as saliências e as irregularidades que identificam a formação da rugosidade na superfície da telha

**Tabela 1.** Proporções dos materiais utilizados (em percentagem ponderal).

| Composição | Barro vermelho (%) | Barro amarelo (%) | Areia (%) | Chamote (%) |
|------------|--------------------|-------------------|-----------|-------------|
| Padrão     | 41                 | 41                | 12        | 6           |
| F-1        | 41                 | 41                | 9         | 9           |
| F-2        | 41                 | 41                | 8         | 10          |
| F-3        | 41                 | 41                | 6         | 12          |
| F-4        | 41                 | 41                | -         | 18          |



**Figura 1.** Difração de raios X da telha queimada.

**Tabela 2.** Composição química da telha por EDS.

| Element   | Series   | Net    | unn. C (wt. (%)) | norm. C (wt. (%)) | Atom. C (at. (%)) | Error (%) |
|-----------|----------|--------|------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Aluminium | K-series | 15317  | 19,31            | 17,96             | 13,52             | 0,9       |
| Silicon   | K-series | 16856  | 23,54            | 21,89             | 15,83             | 1,0       |
| Potassium | K-series | 5273   | 9,50             | 8,84              | 4,59              | 0,4       |
| Iron      | K-series | 821    | 3,93             | 3,65              | 1,33              | 0,2       |
| Titanium  | K-series | 448    | 1,05             | 0,97              | 0,41              | 0,1       |
| Magnesium | K-series | 180    | 0,26             | 0,24              | 0,20              | 0,1       |
| Carbon    | K-series | 2883   | 13,11            | 12,19             | 20,62             | 2,7       |
| Oxygen    | K-series | 7228   | 36,84            | 34,26             | 43,49             | 32,8      |
|           |          | Total: | 107,54           | 100,00            | 100,00            |           |

queimada, já na Figura 4 a rugosidade tem aspecto de grânulos de areia.

A Figura 5 apresenta a perda ao fogo em relação à quantidade de chamote adicionado. Observa-se que a variação relacionada a perda ao fogo esta entre 4,4% a 4,7%, diferença esta caracterizada provavelmente, pela variação relacionada com as variáveis do processo, como a perda de água associada a hidróxidos, água de constituição dos argilosminerais e matéria orgânica eliminadas

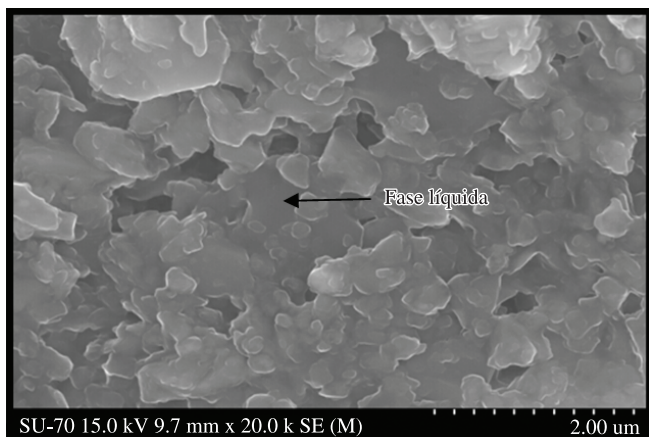


Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura da telha queimada.

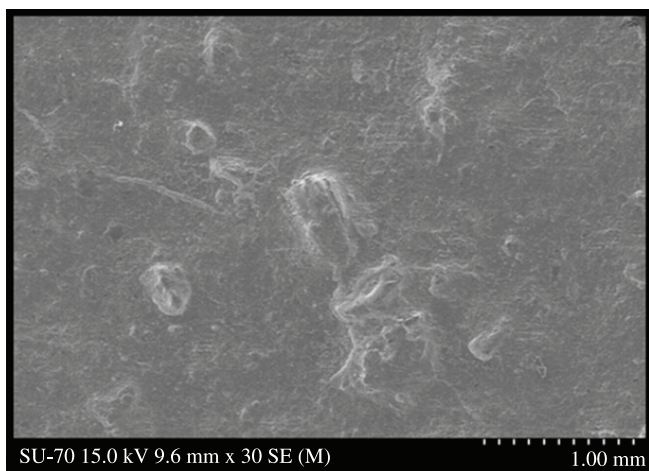


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura da superfície da telha queimada.

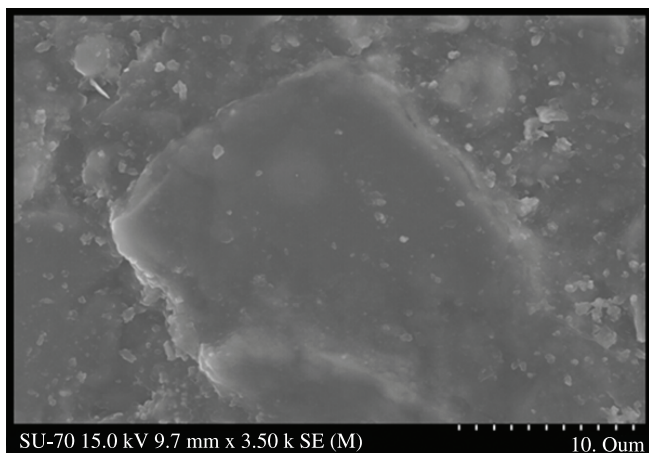


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura da superfície da telha queimada.

durante o processo de queima, esta diferença não é propícia a acarretar danos as características do produto.

A Figura 6 mostra a densidade aparente em função do chamote adicionado. Pode-se observar que o chamote não alterou de forma linear a densidade aparente. O corpo-de-prova com 12% de chamote foi o que apresentou densidade aparente próxima à amostra padrão.

A Figura 7 relaciona a densidade aparente em função da perda ao fogo. Pode-se observar que a perda ao fogo acompanhou as oscilações relacionadas com a densidade aparente do material. Onde a variação da densidade, está relacionada com a eliminação de matéria orgânica, água de constituição, carbonatos dentre outros. Pode-se observar que o corpo-de-prova com perda ao fogo de 4,7% apresentou densidade aparente de 2,05 g/cm<sup>3</sup> próxima a amostra padrão que também teve perda ao fogo de 4,7% e densidade aparente de 2,03 g/cm<sup>3</sup>.

A Figura 8 apresenta a retração térmica linear de secagem em função do chamote adicionado. Para um maior teor de chamote

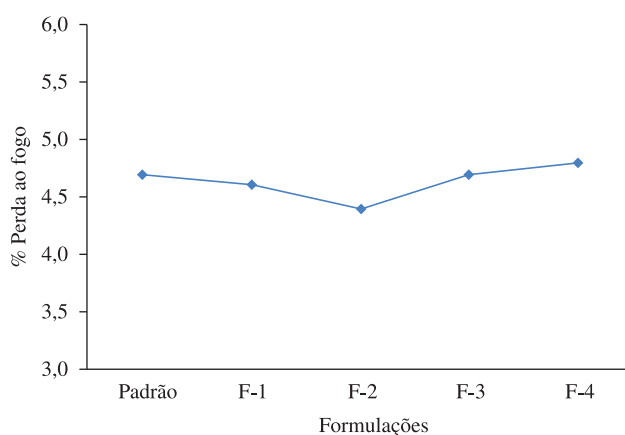


Figura 5. Perda ao fogo em função do chamote adicionado.

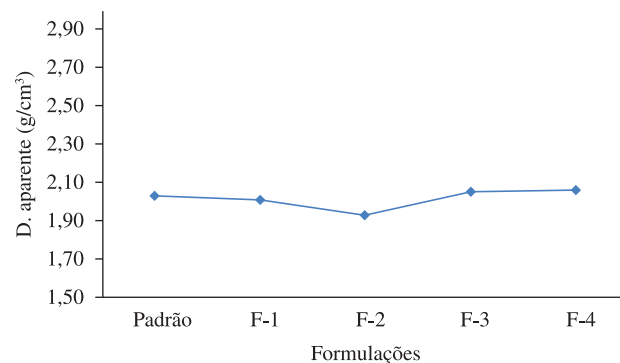


Figura 6. Densidade aparente em função do caco adicionado.

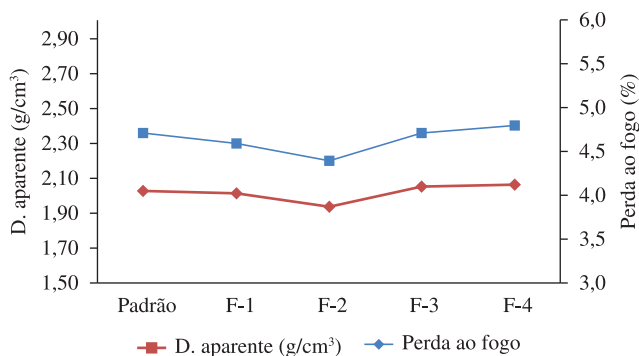
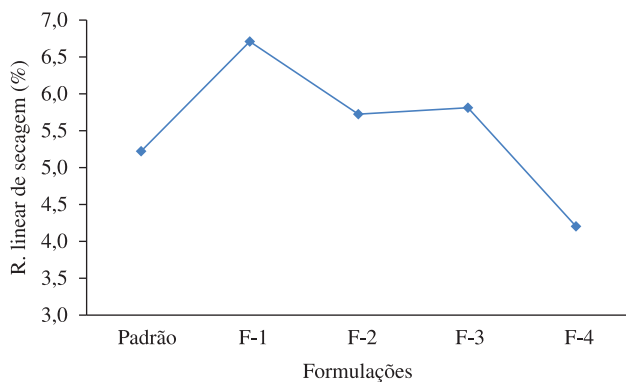
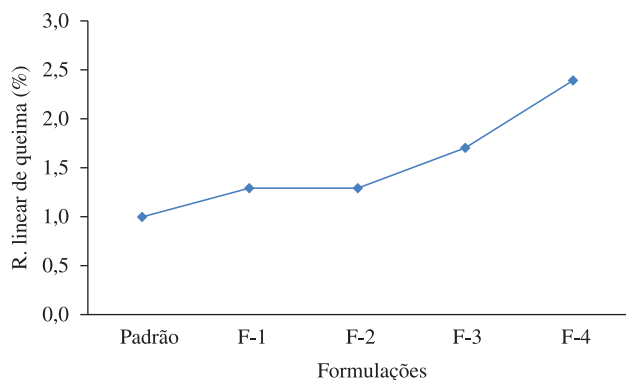


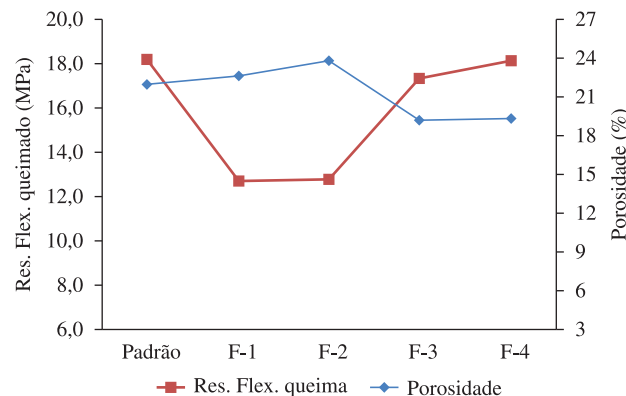
Figura 7. Densidade aparente das amostras em função da perda ao fogo.



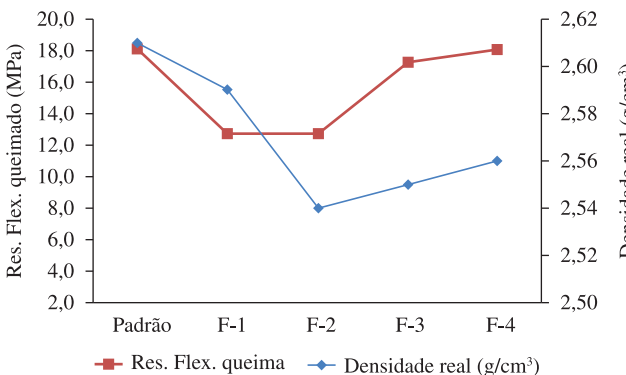
**Figura 8.** Retração linear de secagem em função do chamote adicionado.



**Figura 9.** Retração linear de queima em função do chamote adicionado.



**Figura 10.** Resistência à flexão em função da porosidade.



**Figura 11.** Resistência à flexão em função da densidade real.

observou-se uma tendência de diminuição da retração. Uma das variáveis para explicar a diminuição da retração de secagem, que pode ser levada em consideração, é a introdução da água inicial, sabendo que a mesma foi controlada e que a variação que ocorreu pode ser considerada irrisória. O que pode ter acontecido é o fato do chamote moído separadamente possuir granulometria menor do que a areia. Desta forma, ocorre um melhor empacotamento das partículas, formando uma estrutura mais resistente e diminuindo a tendência do material a reduzir seu tamanho na secagem.

A adição de materiais não plásticos como o caco e areia ajuda a reduzir as contrações sofridas pela massa, melhorando este parâmetro de pré-queima das composições e colaborando para a diminuição de ocorrência de deformações no produto acabado, como trincas, fissuras, empenamentos, etc<sup>4</sup>.

A retração linear de queima apresentou-se ao contrário da retração linear de secagem (Figura 9). O fenômeno ocorrido pode ser explicado com base na Figura 6. Uma peça com maior perda ao fogo e com uma maior densificação, conseqüentemente vai sofrer uma maior retração de queima. Isto se dá pela maior compactação das partículas durante a queima, a formação de fase líquida proporciona um melhor agrupamento gerando uma retração nos corpos-de-prova. A influência do chamote na retração, provavelmente, está relacionada com a presença de argilominerais queimados no chamote, que durante o processo de queima na sua forma de grânulos pode sofrer alterações, interagindo melhor com a formação de fase líquida diferente da areia que sempre vai apresentar-se na sua forma inicial sem sofrer alterações. A retração total é aproximadamente constante.

A resistência mecânica em função da porosidade é apresentada na Figura 10 onde é possível observar que a resistência mecânica diminui com o aumento da porosidade e vice-versa. A resistência mecânica tem uma relação direta com porosidade. Essa relação corresponde ao fato do material mais poroso ser menos resistente. A diminuição da porosidade ocorre devido à formação de fase líquida, que atua fechando os poros. Também por formar fase líquida o material encontra-se mais denso, aumentando a resistência mecânica. Este é um fator importante que favorece a produção de telhas cerâmicas já que este material fica em contato constante com a água.

A Figura 11 apresenta a resistência mecânica à flexão em função da densidade real. Verifica-se que é possível aumentar o índice de chamote na composição sem alterar sua resistência mecânica. Isso ocorre devido à substituição do chamote pela areia que se comporta em algumas características da mesma forma, atuando como material inerte sem influência das suas diferentes propriedades.

As propriedades que influenciam na resistência mecânica do material podem ser vistas na Figura 12. Pode-se observar que à medida que o chamote foi adicionado a densidade real manteve-se praticamente constante e a porosidade teve uma pequena diminuição. O que acontece nesse caso é o fato de o chamote reagir melhor no fechamento dos poros. Apesar da densidade ser praticamente constante em todas as formulações, este material tem um comportamento mais homogêneo e compacto na queima diminuindo a porosidade do material.

Na Figura 13 é possível verificar a resistência mecânica à flexão em função do chamote adicionado. Pode-se observar que uma maior quantidade de chamote manteve uma boa resistência mecânica. Para essa situação o chamote comportou-se da mesma forma que areia, reforçando a estrutura e melhorando o empacotamento das partículas proporcionando uma boa resistência mecânica.

A representação visual da superfície dos corpos-de-prova em relação a rugosidade é observada através da Figura 14, onde é possível verificar que na formulação F4, houve uma diminuição significativa nas saliências expostas na superfície dos corpos-de-prova. Verifica-se que à medida que areia foi sendo substituída pelo chamote a rugosidade foi diminuindo, apresentando um aspecto mais agradável nas superfícies das peças produzidas.

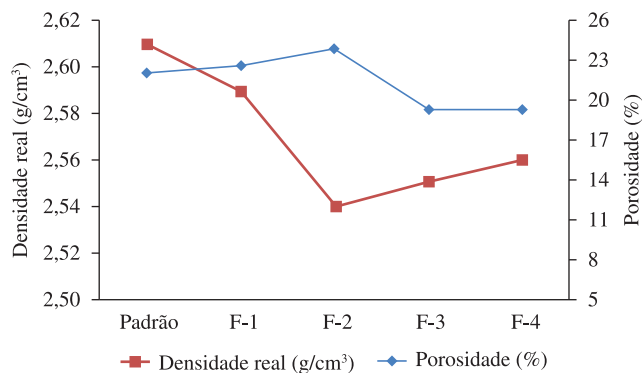


Figura 12. Densidade real e porosidade em função do caco adicionado.

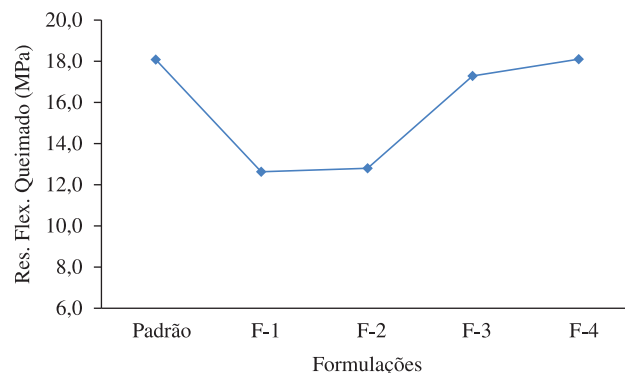


Figura 13. Resistência mecânica à flexão em função do caco adicionado.



Figura 14. Representação visual da superfície dos corpos-de-prova com a diminuição da rugosidade.

#### 4. Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que é possível diminuir a rugosidade superficial sem alterar o processo de fabricação, desde que ocorram modificações na massa cerâmica. Pôde ser constatado que o maior causador da rugosidade nesta situação foi a areia, e sua substituição por chamote apresentou-se de forma positiva.

Concluiu-se que é possível a substituição de partículas grosseiras, que neste trabalho esta representada pela areia, sem que sejam prejudicadas as características físicas do produto. Verificou-se que é possível manter as características físicas como retração de secagem, resistência à flexão, densidade e porosidade do material com adição do chamote. Além da areia, partículas grosseiras de outros materiais podem ocasionar rugosidade, dessa forma o controle na moagem é fundamental para que se possa ter uma superfície agradável.

#### Agradecimentos

Ao Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro – Portugal pela estrutura disponibilizada para esta pesquisa. Ao Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE

e ao SINDICER - Sindicato da Indústria da Cerâmica Vermelha de Morro da Fumaça/SC pela oportunidade de intercâmbio com a Universidade de Aveiro.

#### Referências

- CABRAL JUNIOR, M. C. et al. A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 1, p. 36-42, 2012.
- FERNANDES, M. C. S.; PAULIN FILHO, P. I.; MORELLI, M. R. Análise da superfície de grés porcelanato por microscopia de força. *Cerâmica*, v. 57, p. 173-179, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132011000200007>
- PARRA, B. S. et al. Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 11, n. 2, p. 15-18, 2006.
- GOUVEIA, F. P.; SPOSTO, R. M. Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. *Cerâmica*, v. 55, p. 415-419, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132009000400012>
- DANA, J. D. *Manual de Mineralogia*. 1. ed. 5. rev. Rio de Janeiro, 1978. p. 528-530.