

Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima

(Ceramic bodies for roofing tiles: characteristics and firing behavior)

C. M. F. Vieira, T. M. Soares, S. N. Monteiro

Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV

Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF

Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, 28015-620

vieira@uenf.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo estudar comparativamente as características e propriedades tecnológicas de uma típica massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes-RJ com outras três massas cerâmicas de reconhecida qualidade técnica, provenientes dos Estados de Santa Catarina e Piauí, e de Portugal. As massas cerâmicas foram submetidas a ensaios de difração de raios X, composição química, ATD/TG, distribuição de tamanho de partícula e plasticidade. Foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial a 20 MPa para queima em temperaturas variando de 825 a 1025 °C. As propriedades tecnológicas de queima avaliadas foram: retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão (3 pontos). Os resultados indicaram que a massa cerâmica proveniente de Campos apresenta significativas diferenças nas características avaliadas em comparação com as demais massas cerâmicas. Consequentemente, a massa cerâmica de Campos apresentou um comportamento de queima diferente, com maiores valores de absorção de água, de resistência mecânica e de retração linear.

Palavras-chave: massa cerâmica, telhas, caracterização.

Abstract

This work has for objective to study the characteristics and technological properties of a typical roofing tile ceramic body from the county of Campos of Goytacazes-RJ with other three ceramic bodies of recognized technical quality, coming from States of Santa Catarina and Piauí and of Portugal. The ceramic bodies were submitted to analysis of X-ray diffraction, chemical composition, DTA/TGA, particle size distribution and plasticity. Samples were made by uniaxial pressure at 20 MPa for firing in temperatures varying from 825 to 1075 °C. The firing technological properties evaluated were: lineal shrinkage, water absorption and flexural strength (3 points). The results indicated that the ceramic body from Campos presents significant differences in the evaluated characteristics in comparison with the other ceramic bodies. Consequently, the ceramic body from Campos showed a different firing behavior, with higher values of water absorption, flexural strength and lineal shrinkage.

Keywords: ceramic body, roofing tile, characterization.

INTRODUÇÃO

No município de Campos dos Goytacazes-RJ há uma grande produção de cerâmica vermelha estimada em 135×10^6 peças/mês [1]. A produção é basicamente voltada para os blocos de vedação. Há ainda pequena produção de telhas, pisos rústicos, bloco estrutural e tijolos aparentes. Cerca de cinco cerâmicas produzem por mês aproximadamente $1,0$ a $1,5 \times 10^6$ telhas avermelhadas prensadas dos tipos romana e portuguesa. Estas telhas são queimadas em fornos Hoffmann e Paulistinha em temperaturas variando de 850 a 1000 °C. A lenha, na fase de pré-aquecimento, e o gás natural são os combustíveis utilizados. Há ainda olarias rudimentares, algumas sem energia elétrica, que realizam a etapa de preparação da massa à tração animal, conformação manual em moldes de madeira e queima em forno caieira. Estas olarias fabricam blocos de vedação, telha do tipo francesa e tijolos “refratários” utilizados nas cerâmicas de maior porte.

Existe na região uma grande dificuldade para produção de telhas dentro das especificações técnicas exigidas, principalmente no que se refere ao parâmetro de absorção de água que deve ser menor que 18%, para por exemplo telha tipo romana

[2]. Estes produtos são elaborados com argilas caulínicas locais que são sedimentos quaternários de origem flúvio-lacustre [3-6]. A diversificação da produção de cerâmica vermelha, sobretudo com a fabricação de produtos de elevado valor agregado como as telhas cerâmicas, é uma das linhas de atuação do Laboratório de Materiais Avançados-LAMAV da Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF em parceria com empresas da região de Campos.

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo estudar comparativamente os resultados de caracterização de uma massa cerâmica para telhas do município de Campos-RJ com outras três massas cerâmicas para telhas de reconhecida qualidade técnica. Desta forma, torna-se possível identificar possíveis deficiências na massa cerâmica da região e direcionar os estudos para reformulações das massas e identificação das condições ótimas de processamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foi utilizada uma massa cerâmica para telhas proveniente de indústria do pólo cerâmico do município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de

Janeiro, a qual foi comparativamente avaliada com outras três massas cerâmicas para telhas provenientes de indústrias das regiões de: Teresina (Piauí), Morro da Fumaça (Santa Catarina) e Coimbra (Portugal). As quatro massas cerâmicas estudadas são utilizadas para fabricação de telhas com cor de queima avermelhada.

As massas cerâmicas foram coletadas na linha de produção após a etapa de extrusão, garantindo assim uma boa homogeneização. Após coleta das matérias-primas, estas foram inicialmente secas em estufa a 110 °C e desagregadas com pilão manual. As massas foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização: difração de raios X, ATD / TG, composição química, distribuição de tamanho de partícula e plasticidade.

Para os ensaios de difração de raios X, foram utilizadas amostras em forma de pó em difratômetro marca SEIFERT, modelo URD 65, operando com radiação de $\text{Cu-K}\alpha$ e 2θ variando de 5° a 65°. As análises térmica diferencial e térmica gravimétrica foram realizadas num módulo de análise simultâneo, modelo SDT2960 da TA Instrumentos. A taxa de aquecimento empregada foi de 10 °C/min com atmosfera de ar. A composição química das massas foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios X. A distribuição de tamanho de partícula foi realizada por peneiramento via úmida

e sedimentação via Pipeta de Andreasen. A plasticidade das massas cerâmicas foi avaliada de acordo com as normas ABNT NBR-7180 [7] e NBR-6459 [8], através da determinação dos índices de Atterberg: Limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP).

Foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial a 20 MPa em matriz de aço no tamanho 114,3 x 25,4 x 10 mm³ de forma que a densidade aparente a seco das peças fosse de 1,93 g/cm³ com desvio-padrão de 0,03 g/cm³. Desta forma, há uma garantia que as propriedades de queima avaliadas não foram influenciadas pelo grau de empacotamento das diferentes massas. Em seguida, os corpos de prova foram queimados em forno de laboratório nas temperaturas de patamar de 825 a 1075 °C com intervalo de 25 °C. Os corpos de prova foram mantidos na temperatura de patamar durante 2 horas. Utilizou-se uma taxa de aquecimento/resfriamento de 4 °C/min. As propriedades tecnológicas de queima avaliadas foram: absorção de água, retração linear e tensão de ruptura à flexão (3 pontos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 mostra os difratogramas de raios X das massas cerâmicas. Observa-se que a massa cerâmica Santa Catarina

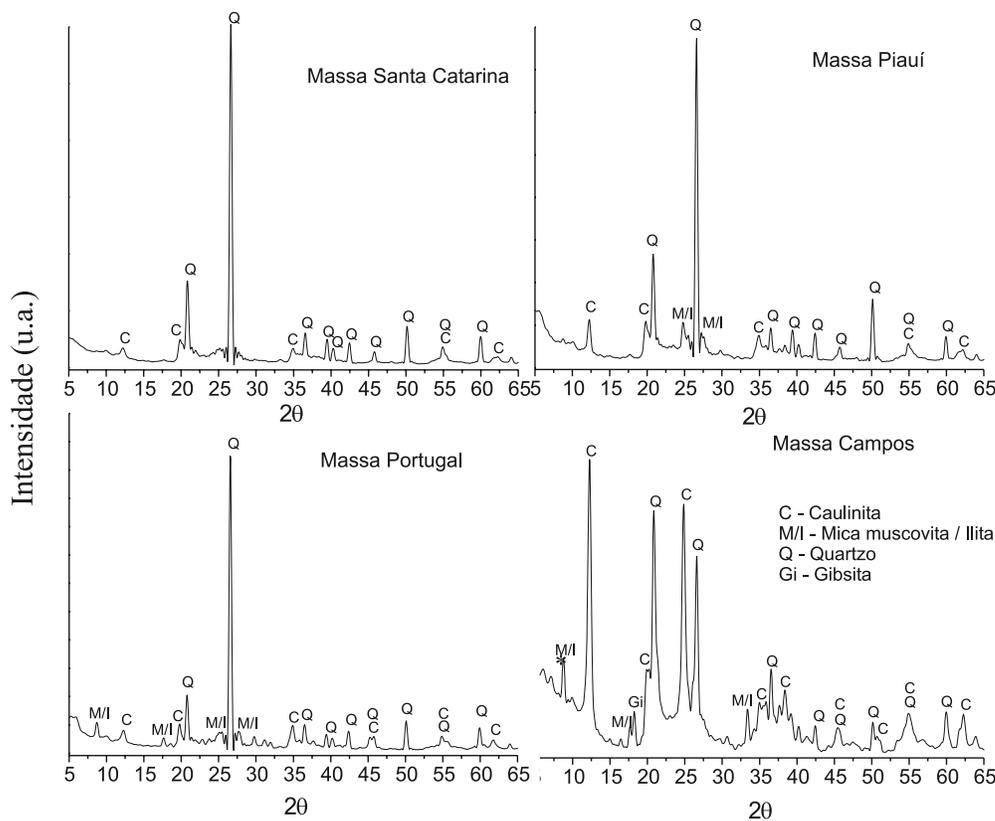


Figura 1: Difratogramas de raios X das massas cerâmicas.
[Figure 1: X-ray diffraction patterns of the ceramic bodies.]

apresenta uma composição mineralógica bem simples, sendo identificada apenas presença de caulinita e quartzo. Nas massas Portugal e Piauí foram observadas além da caulinita e quartzo, a presença de picos de difração característicos de mica/ilita. Já na massa Campos, observa-se também picos de difração da gibsita (hidróxido de alumínio) e traços de minerais argilosos esmectíticos, identificados com (*).

De acordo com a Tabela I, observa-se que a massa cerâmica de Campos apresenta um menor teor de sílica (SiO_2) e maior teor de alumina (Al_2O_3) dentre as massas avaliadas. Isto é um indicativo de maior percentual de minerais argilosos. Esta indicação é reforçada pelo elevado valor de perda ao fogo obtido, 11,43%. Observa-se também que todas as massas apresentam elevado percentual de hematita (Fe_2O_3), responsável pela cor avermelhada dos produtos após queima. Em relação aos óxidos alcalinos ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$), as massas apresentam teores variando de 1,59%, da massa de Santa Catarina a 3,14%, à massa de Portugal. A massa de Campos apresenta percentual intermediário, de 1,92%.

A Fig. 2 mostra as curvas de análise térmica diferencial das massas cerâmicas. Todas as massas apresentam um primeiro pico endotérmico que varia de 70,85 °C para a massa de Santa Catarina até 74,93 °C para a massa Portugal. Este pico endotérmico está relacionado com a eliminação de água de umidade. Em seguida, a massa Campos apresenta um segundo pico endotérmico a 262,88 °C característico de decomposição de hidróxidos de alumínio (gibsita) e eventuais hidróxidos de ferro. A presença de hidróxidos é indesejável já que haverá uma necessidade adicional de energia para sua decomposição e no caso da gibsita, ocorre liberação de alumina (Al_2O_3) que aumenta a refratariedade da massa. Já a decomposição de hidróxidos de ferro libera Fe_2O_3 que se mantendo na forma oxidada, também atua no sentido de aumentar a refratariedade da massa [11]. Observa-se que as demais massas cerâmicas não apresentam pico endotérmico pronunciado em torno desta temperatura. Este pico endotérmico da massa cerâmica de Campos está associado a uma perda de massa de 2,48%, de acordo com as curvas da Fig. 3. Já na faixa de temperatura variando de 464,44 °C para a massa Santa Catarina à temperatura de 491,35 °C para a massa de Campos, ocorre a eliminação das hidroxilas dos minerais argilosos. As correspondentes perdas de massa são de 7,41% para a massa Campos, 4,84% para a massa Piauí, 4,17% para

a massa Santa Catarina e 3,87% para a massa Portugal. Isto comprova que a massa Campos apresenta um percentual de mineral argiloso bem superior às demais massas avaliadas. Em temperaturas em torno de 570 °C ocorre um outro pico endotérmico, porém de baixa intensidade para as massas Santa Catarina, Piauí e Portugal. Este pico está associado à transformação alotrópica do quartzo- ζ para quartzo- η . Observa-se que massa Campos-RJ não apresenta este pico, que é devido ao baixo percentual de sílica livre presente. Por

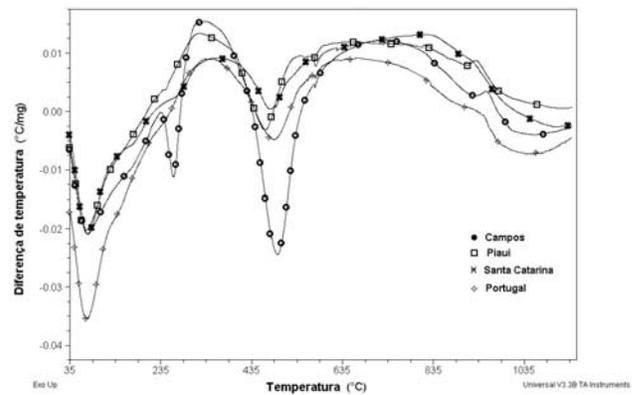


Figura 2: Curvas ATD das massas cerâmicas.
[Figure 2: DTA curves of the ceramic bodies.]

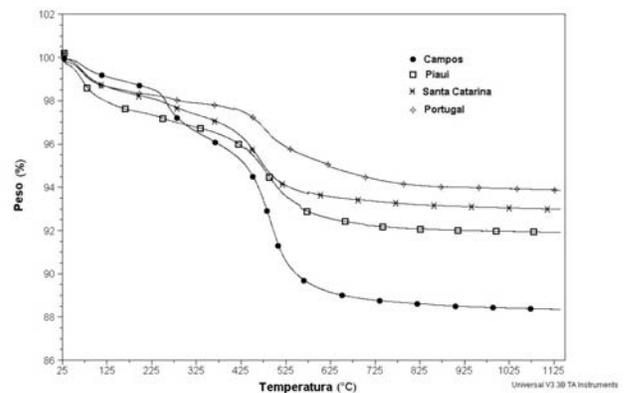


Figura 3: Curvas TG das massas cerâmicas.
[Figure 3: TGA curves of the ceramic bodies.]

Tabela I - Composição química das massas cerâmicas (% em massa).
[Table I - Chemical composition of the ceramic bodies (mass %).]

Massas	Determinações								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	PF
Campos	44,56	29,64	9,21	1,44	1,41	0,51	0,24	1,10	11,43
Santa Catarina	68,35	15,60	5,96	1,17	1,36	0,23	0,14	0,71	5,83
Piauí	61,39	19,74	6,93	1,11	2,20	0,23	0,31	0,91	6,91
Portugal	63,94	18,68	6,05	0,76	2,82	0,32	0,09	1,56	5,57

fim, as massas cerâmicas de Campos e Santa Catarina apresentam um leve pico exotérmico nas temperaturas de 951,98 °C e 928,44 °C, respectivamente. Este pico é característico da formação de novas fases a partir da decomposição da metacaolinita.

De acordo com a Fig. 4, pode-se observar que a massa cerâmica de Campos localiza-se no diagrama de Winkler numa região mais próxima do vértice < 2 μm (53%) em relação às demais massas. Este resultado está de acordo com o maior percentual de mineral argiloso (fração “argila”) observado da massa de Campos dentre as massas avaliadas. As demais massas apresentam teores muito próximos de fração “argila”. Para as massas de Santa Catarina e Portugal este percentual é de 43%. Já a massa cerâmica proveniente do Piauí, apresenta percentual de mineral argiloso de 46%. Entretanto, conforme pode ser observado na Fig. 4, apesar das massas de Santa Catarina e Portugal apresentarem o mesmo percentual de fração “argila”, elas se localizam em regiões distintas no diagrama. Ao contrário da massa de Portugal, a massa cerâmica proveniente de Santa Catarina apresenta um maior percentual de fração granulométrica > 20 μm em relação à fração granulométrica compreendida entre 2-20 μm . Já a massa cerâmica do Piauí apresenta percentuais semelhantes das frações granulométricas 2-20 μm e > 20 μm . É interessante observar que de acordo com o diagrama de Winkler, para fabricação de telhas (região II), a fração “argila” pode ser reduzida até 30%. Isto acarretaria em uma maior facilidade de secagem, com menos tempo (menor gasto energético) e menor risco de aparecimento de defeitos. Como desvantagens ocorre maior desgaste de equipamento e redução da resistência

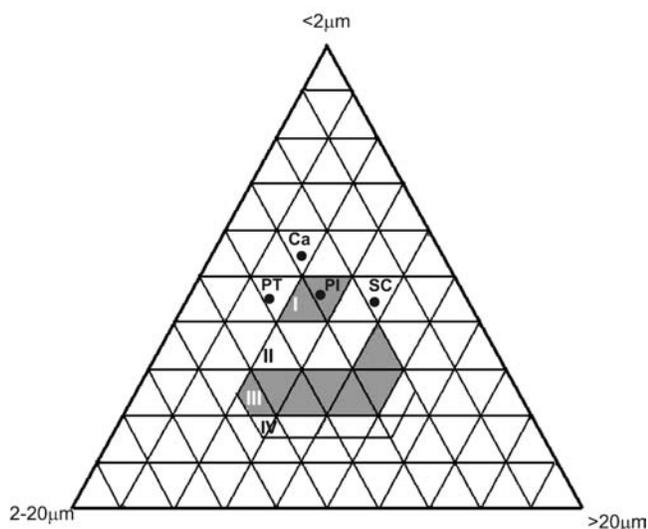


Figura 4: Distribuição de tamanho de partículas das massas cerâmicas no diagrama de Winkler (% em massa). Ca: Campos; SC: Santa Catarina; Pi: Piauí; Pt: Portugal.

[Figure 4: Grain size distribution of the ceramic bodies in the Winkler diagram (mass%). Ca: Campos; SC: Santa Catarina; PI: Piauí; PT: Portugal.]

mecânica das peças. Talvez até mesmo a plasticidade da massa não seja adequada para conformação das peças. Entretanto, para afirmar isto, há necessidade de uma investigação mais específica.

A Tabela II mostra a plasticidade das massas cerâmicas avaliada através dos limites de Atterberg. A determinação da plasticidade é de grande importância para cerâmica vermelha, já que indica sua adequação para ser conformada por extrusão [9]. O limite de plasticidade (LP) indica a quantidade de água mínima que a argila ou massa cerâmica devem conter para serem conformadas, por exemplo, em uma extrusora a vácuo. Valores razoáveis para extrudar são considerados entre 22-24% [10]. O limite de liquidez (LL) corresponde à máxima quantidade de água que a argila ou massa cerâmica possam conter para ainda serem moldáveis. Já o índice de plasticidade (IP) representa a diferença entre o limite de liquidez e limite de plasticidade. Ou seja, representa a quantidade de água que ainda pode ser adicionada a partir do limite de plasticidade, sem alterar o estado plástico da argila ou massa cerâmica. O índice de plasticidade considerado mínimo é de 10% [9]. Abaixo deste valor torna-se muito perigosa a etapa de conformação, já que há um grande risco de mudança no comportamento plástico com pequena alteração na quantidade de água utilizada. Observa-se que todas as massas cerâmicas apresentam índice de plasticidade (IP) superior a 10%. Observa-se também que a massa de Campos apresenta o maior valor de limite de plasticidade. Isto indica a necessidade de utilização de uma maior quantidade de água para extrudar as peças. Consequentemente, a etapa de secagem pode ser mais problemática com aumento do risco de defeitos e tempo mais prolongado que aumenta o gasto energético e reduz a produtividade.

A Fig. 5 mostra as curvas de absorção de água em função da temperatura de queima das massas cerâmicas estudadas, com marcação do valor máximo de absorção de água recomendável para telha cerâmica tipo romana, que é de 18% [2]. Dentre as quatro massas avaliadas, somente a massa proveniente do Piauí não é utilizada para fabricação de telhas romanas. Observa-se que as massas cerâmicas de Santa Catarina e Piauí alcançam o valor de 18% de absorção de água já a partir de 825 °C. A massa de Portugal alcança este valor na temperatura de 890 °C aproximadamente. Já a massa cerâmica de Campos só alcança o valor de 18% de absorção

Tabela II - Limites de Atterberg das massas cerâmicas (%).
[Table II - Atterberg limits of the ceramic bodies (%).]

Plasticidade	Massas Cerâmicas			
	Campos	Santa Catarina	Piauí	Portugal
LP	29	25	23	20
LL	64	51	49	39
IP	35	26	26	19

de água na temperatura de 1015 °C. Apesar da massa de Campos apresentar teores de fundentes alcalinos ($K_2O + Na_2O$) maiores que a massa de Santa Catarina, o seu comportamento é mais refratário. Isto pode ser atribuído ao elevado percentual de Al_2O_3 que dificulta a formação de eutéticos, como no exemplo do diagrama $SiO_2-Al_2O_3-K_2O$ [11]. Além disso, a elevada perda ao fogo também contribui para aumentar a porosidade das peças.

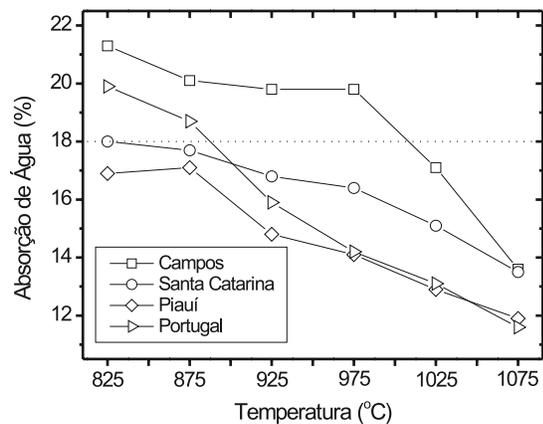


Figura 5: Absorção de água das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

[Figure 5: Water absorption of the ceramic bodies as a function of firing temperature.]

De acordo com a Fig. 6 pode-se observar que para as massas cerâmicas de Campos, Santa Catarina e Piauí, há um aumento dos valores de retração linear para todas as temperaturas de queima avaliadas. Isto ocorre devido à evolução da densificação do material e conseqüente diminuição da porosidade. A massa de Portugal inicialmente apresenta uma expansão para as temperaturas de 825 e 875 °C para em seguida apresentar os mais baixos valores retração linear dentre as massas cerâmicas estudadas. Observa-se também que a partir de 975 °C, o aumento da retração linear é mais significativo para todas as massas. Com isso, o risco de trincas de aquecimento é também maior. Além disso, deve-se garantir uma distribuição de temperatura bastante homogênea nos fornos para que não haja problemas dimensionais nos produtos. A massa de Campos apresenta os maiores valores de retração linear dentre as massas avaliadas, devido à elevada perda ao fogo.

De acordo com a Fig. 7, observa-se que todas as massas cerâmicas apresentam um aumento dos valores de tensão de ruptura à flexão em função do aumento da temperatura de queima. Este comportamento é atribuído à diminuição da porosidade das amostras. Observa-se também que massa cerâmica de Campos apresenta maiores valores de tensão de ruptura à flexão dentre as massas cerâmicas avaliadas em todas as temperaturas de queima. Era de se esperar menores valores de tensão de ruptura à flexão que às demais massas, em função da maior porosidade obtida. Entretanto, este comportamento pode estar relacionado com a existência de micro-trincas nas massas cerâmicas de Santa Catarina, Piauí e Portugal,

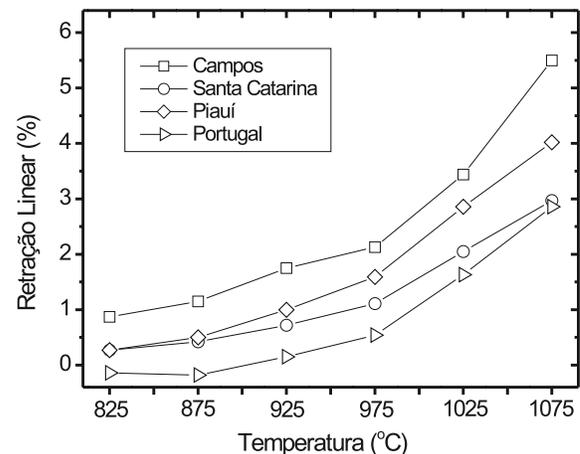


Figura 6: Retração linear das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

[Figure 6: Linear shrinkage of the ceramic bodies as a function of firing temperature.]

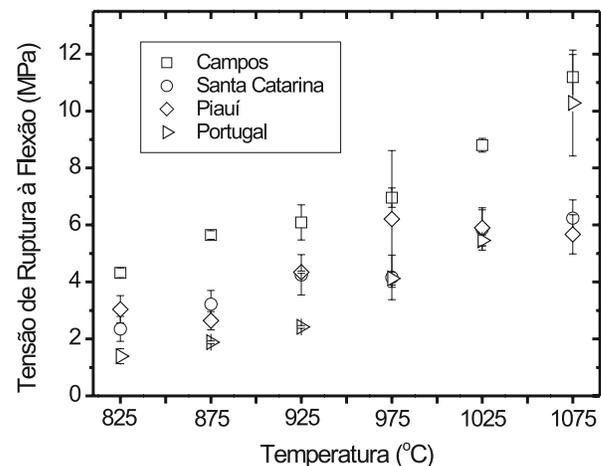


Figura 7: Tensão de ruptura à flexão das massas cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.

[Figure 7: Flexural strength of the ceramic bodies as a function of firing temperature.]

provenientes dos elevados percentuais de sílica livre observados. Análises da superfície de fratura por microscopia eletrônica de varredura podem confirmar esta hipótese.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, a determinação de características e a avaliação do comportamento de queima de uma típica massa cerâmica de telhas de Campos em comparação com massas de outras regiões, possibilitaram concluir que:

- A massa cerâmica para telhas de Campos apresenta significativas diferenças nos aspectos mineralógicos, químicos e físicos em relação às massas cerâmicas de Santa Catarina, Piauí e Portugal. A massa cerâmica de Campos apresenta uma composição mineralógica com excessivo percentual de fração "argila" que é de predominância caulinitica. Foi observada a

presença de hidróxido de alumínio - gibsita que contribui para aumentar a refratariedade da massa e elevar a perda ao fogo.

- A massa cerâmica de Campos apresenta excessiva plasticidade que acarreta em uma maior quantidade de água necessária para sua conformação. Isto retarda o processo de secagem e pode originar defeitos nas peças devido à elevada retração.

- No comportamento de queima, a massa de Campos apresenta maiores valores de absorção de água dentre as massas estudadas até a temperatura de 1025 °C. Este comportamento é atribuído à sua elevada perda ao fogo, elevado percentual de Al₂O₃ (caulinita e gibsita) e baixo percentual de óxidos alcalinos.

- Diferentemente das demais massas cerâmicas avaliadas, a massa de Campos só alcançou valores de absorção de água abaixo de 18% em temperaturas superiores a 1000 °C. Além disso, a massa de Campos apresentou as maiores retrações lineares dentre as massas avaliadas em todas as temperaturas de queima. Entretanto, a massa de Campos apresentou os maiores valores de tensão de ruptura à flexão dentre as massas cerâmicas estudadas em todas as temperaturas de queima, possivelmente devido ao menor teor de sílica livre.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ pelo apoio para realização deste trabalho, processos nº E-26151.544/2001 E-26151.837/2002.

REFERÊNCIAS

- [1] J. L. Francisco, *Jornal Cerâmica Estrutural*, Coam Gráfica e Editora, Ano 04, n. 37, Santa Catarina (2003).
- [2] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Telha cerâmica tipo romana - especificação*, NBR 13582, Rio de Janeiro (1996).
- [3] C. M. F. Vieira, J. N. F. Holanda, D. G. Pinatti, *Cerâmica* **46**, 297 (2000) 14.
- [4] C. M. F. Vieira, S. N. Monteiro, J. Duailibi Filho, *Cerâmica Industrial* **6**, 6 (2001) 43.
- [5] C. M. F. Vieira, S. N. Monteiro, *Tile & Brick Int.* **18**, 3 (2002) 152.
- [6] C. M. F. Vieira, B. R. Cardoso, S. N. Monteiro, *Cerâmica Informação* **25** (2002) 38.
- [7] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Determinação do limite de plasticidade*, NBR - 7180, Rio de Janeiro (1984).
- [8] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Determinação do limite de liquidez*. NBR 6459, Rio de Janeiro (1984).
- [9] M. F. Abajo, *Manual Sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos*, Ed. BERALMAR S.A., Terrassa, Espanha (2000) p.125.
- [10] E. Más, *Qualidade e Tecnologia em Cerâmica*, Editor J. L. Francisco, Santa Catarina, Brasil (2002) p. 27.
- [11] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York (1975) p. 295. (Rec. 17/04/03, Ac. 18/07/03)