

DESENVOLVIMENTO DE PORCELANA DE OSSOS E ANÁLISE DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

RESUMO

A porcelana de ossos destaca-se entre as outras porcelanas, além de suas propriedades estéticas únicas como translucidez e alvura, por sua elevada resistência mecânica, alcançando valores bem superiores a de outras cerâmicas brancas. Este trabalho propõe a produção dessa porcelana utilizando como matéria-prima um resíduo da produção de artefatos de ossos da região Sul do país. As propriedades mecânicas da porcelana de ossos foram estudadas neste trabalho, avaliando-se a resistência mecânica à flexão, e a tenacidade à fratura. Avaliou-se também a resistência ao choque térmico por meio de ensaios de resfriamento rápido em água. Os dados foram comparados com valores obtidos de uma porcelana dura tradicional.

Palavras chaves: porcelana, ossos calcinados, ensaios mecânicos.

INTRODUÇÃO

As qualidades como alvura, translucidez, refletividade e elevada resistência mecânica fizeram da porcelana de ossos um produto com matiz estética diferenciada, em relação a outras porcelanas. Essas qualidades foram determinantes para a sua ampla aceitação no mercado; além disso, a crescente preocupação com as questões ambientais despertou um novo interesse por esta porcelana. O uso de 50% de subproduto de abatedouros em sua composição, ossos bovinos, tornou essa porcelana ainda mais atrativa gerando novos estudos a seu respeito.

A porcelana de ossos tradicional é formulada com os percentuais de 50% de cinza de ossos, 25% de caulim e 25% feldspato. Nesta composição os ossos atuam como formadores da fase cristalina (anortita), o caulim confere plasticidade à massa e o feldspato age como fundente reduzindo a temperatura de sinterização das peças. Algumas vezes, tem-se a adição de pequenas quantidades de outras matérias-primas, como quartzo ou argilas plásticas, para o aumento da resistência pirolástica e aumento da plasticidade da massa, respectivamente. Devido ao baixo percentual de argila plástica na formulação, a fim de evitar a perda de alvura, a plasticidade e a resistência a verde são

baixas, de modo que mais tempo e cuidados são requeridos no processo produtivo^{1,2}.

Comparando-se com outros tipos de porcelanas como louça comum ou a porcelana de alta temperatura de queima (porcelana dura ou *hard porcelain*), a porcelana de ossos é a que apresenta a maior resistência à flexão, ao lascamento e acentuada maior tenacidade. Em relação à porcelana dura a resistência chega a ser quase o dobro, para uma temperatura de queima menor em cerca de 100°C^{3,4}.

A maior desvantagem é sem dúvida o curto intervalo de gresificação das peças. Em porcelanas de quartzo a dissolução do mesmo garante a manutenção de uma viscosidade elevada com o aumento da temperatura, evitando o empenamento do item⁵. A produção da porcelana de ossos requer parâmetros de controle do processo bastante restritos, geralmente um intervalo curto para vitrificação de 15-25°C. Conseqüentemente, a temperatura máxima de queima é crítica, geralmente entre 1220 a 1250°C⁶.

O presente trabalho propõe um estudo das propriedades mecânicas da porcelana de ossos, utilizando-se a formulação tradicional inglesa. Assim, avaliou-se a resistência mecânica à flexão e a tenacidade à fratura, comparando-se com os resultados de uma porcelana dura. As peças produzidas também foram analisadas quanto à resistência ao choque térmico por meio de ensaios de resfriamento rápido em água.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O pó de ossos utilizado nesse estudo é um resíduo de corte e polimento de ossos bovinos já se encontrando na forma de pó antes de sua calcinação. Em laboratório, essa matéria-prima foi calcinada a temperatura de 1000°C com taxa de aquecimento de 2,5°C/min e patamar de 1 hora. A temperatura de calcinação já havia sido determinada em trabalhos anteriores⁷. Após o tratamento térmico, o pó de ossos foi moído em via úmida até que 90% das partículas atingissem uma granulometria inferior a 14 µm⁸. Ao final desta etapa, o material foi levado à estufa onde permaneceu por 24 horas.

A formulação avaliada apresentava composição tradicional inglesa 50% de ossos calcinados, 25% de caulim, e 25% de feldspato potássico. A

formulação da porcelana dura foi de 50% caulim, 25% feldspato e 25% quartzo. A composição química é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química das matérias-primas.

| | Caulim | Ossos calcinado | Quartzo | Feldspato Potássico |
|------------------------------------|--------|--------------------|---------|------------------------|
| SiO ₂ (%) | 46,96 | 0,8 | 99,81 | 69,2 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 38,05 | 1,8 | 0,12 | 16,2 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 0,46 | 0,2 | 0,08 | 0,33 |
| MgO (%) | - | 1,3 | <0,01 | 0 |
| CaO (%) | 0,02 | 50,1 | <0,01 | 0,65 |
| Na ₂ O (%) | 0,03 | 2,5 | 0,03 | 3,3 |
| K ₂ O (%) | 1,14 | 1,3 | 0,06 | 9,79 |
| TiO ₂ (%) | 0,03 | - | 0,073 | 0,05 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,108 | 37,2 | 0,02 | 0,5 |
| PF (%) | 13,20 | 4,32 | - | - |
| Total (%) | 99,9 | 99,5 | 100 | 100 |

PF = Perda ao fogo

As matérias-primas foram moídas separadamente até serem 100% passante na malha ABNT 325 e homogeneizadas em moinho de bolas (Servitech modelo CT -242) pelo período de 5 minutos.

A conformação dos corpos-de-prova foi realizada por prensagem, com a massa umidificada com 8% em peso de água deionizada, e granulada por peneiramento em malha ABNT 20 (0,84 mm). As amostras foram produzidas por prensagem hidráulica uniaxial nas dimensões 6 x 20 x 60 mm³. As peças conformadas foram secas ao ar livre por 24h e em estufa a 110°C pelo mesmo período. Após o tempo de secagem, os corpos-de-prova foram queimados em forno elétrico tipo mufla a temperatura de 1250°C (porcelana de ossos) e 1350°C (porcelana dura), com taxa de aquecimento de 2,5°C/min e patamar de 1 hora.

A caracterização tecnológica consistiu da determinação da absorção d'água (princípio de Arquimedes), retração linear (por paquímetro), perda de peso (em balança analítica) e tensão de ruptura à flexão por carregamento em quatro pontos. A tenacidade à fratura foi determinada pelo método do entalhe⁹. Para o ensaio de resistência ao choque térmico com resfriamento em água o

forno foi previamente aquecido nas temperaturas de 150, 200, 300 e 400°C. Na sequência as peças foram colocadas no forno onde permaneceram pelo tempo de 10 min, ao serem retiradas, as mesmas, foram imediatamente imersas em água por um tempo de 5min¹⁰.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comportamento Mecânico

Os resultados experimentais confirmaram que a porcelana de ossos apresenta maior resistência mecânica, no teste de ruptura pela tensão de flexão. As duas formulações foram testadas em condições experimentais bastante próximas. A porcelana de ossos apresentou uma resistência mecânica de 71 MPa (em 1240°C), enquanto a porcelana tradicional chegou a 46 MPa (em 1340°C). Os dados de caracterização tecnológica são apresentados na Tabela 1, considerando-se a melhor temperatura de queima.

Tabela 2: Absorção de água (aa), massa específica *bulk* (me) e tensão de ruptura por flexão (R) da porcelana dura e de ossos. Temperatura de gresificação.

| T (°C) | Porcelana dura | | | Porcelana de ossos | | |
|--------|----------------|-------------------------|---------|--------------------|-------------------------|---------|
| | aa (%) | me (g/cm ³) | R (MPa) | aa (%) | me (g/cm ³) | R (MPa) |
| 1240 | - | - | - | 0,12 | 2,36 | 71 |
| 1340 | 0,34 | 2,32 | 46 | - | - | - |

A porcelana de osso apresentou maior tenacidade à fratura representada por um $K_{IC} = 1,65 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, enquanto na porcelana dura obteve-se um $K_{IC} = 1,44 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

As diferenças da resistência mecânica entre as duas porcelanas foi também analisado em outro estudo¹¹. Em síntese, elas se diferenciam quanto às fases cristalinas: a porcelana de ossos apresenta anortita e β -fosfato tricálcico, enquanto a porcelana tradicional, apresenta mulita e quartzo. A porcelana de ossos possui cerca de 70% de fases cristalinas e 30% de fase

vítrea. Já a porcelana dura é praticamente o oposto: 30% de fases cristalinas e 70% de vidro¹².

Comportamento termomecânico

Os resultados de resistência mecânica, medidos pela tensão de ruptura a flexão, para os corpos-de-prova que sofreram choque térmico são apresentados na Figura 1. Os dados encontrados mostram que a variação temperatura de choque térmico reduz a resistência mecânica do material. Os resultados são ilustrados na Figura 1. Em geral, ao serem expostas a uma variação repentina de temperatura, como o choque térmico, materiais cerâmicos sofrem um aumento nas microtrincas existentes na sua microestrutura e como resultado, tem-se a diminuição da sua resistência mecânica^{9,10}.

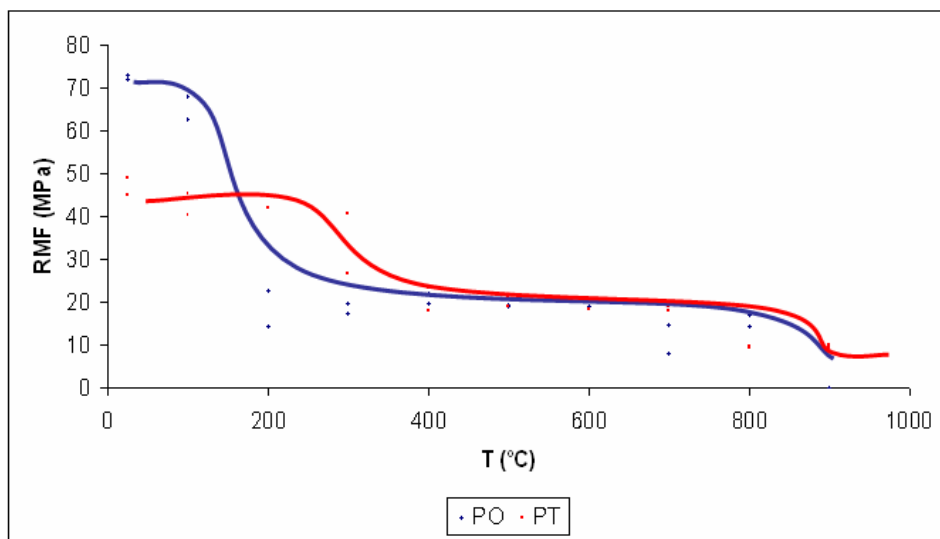


Figura 1: Avaliação de dano por choque-térmico (resistência mecânica após choque térmico – RMF) em função da variação de temperatura (diferença de temperatura de aquecimento menos a temperatura do banho em água a 20°C). PO – Porcelana com Osso, PT – Porcelana tradicional.

Na Figura 1, nota-se que a porcelana de osso possui menor resistência ao dano por choque térmico, chegando a perder cerca de 40 MPa, para o choque térmico crítico, enquanto a porcelana tradicional perde ~20MPa. Isso significa um maior risco de fratura catastrófica. Mais significativo, é que a porcelana de osso apresenta uma menor temperatura de nucleação de trinca, cerca de 200°C, ou seja, em uma diferença de temperatura de 180°C (200°C representa a temperatura de aquecimento da peça, para ser resfriada em banho de água a 20°C). Já a porcelana tradicional, só apresenta perda de resistência mecânica para um choque térmico de 300°C.

O comportamento frente ao choque térmico é explicado pela maior rigidez da estrutura da porcelana de ossos, a qual possui significativa maior quantidade de fase cristalina. Portanto, a porcelana de ossos possui maior módulo elástico e conseqüentemente maior tensão térmica gerada e menor resistência ao dano por choque térmico¹³. Do mesmo modo, a maior resistência mecânica e maior tenacidade à fratura são explicadas pela maior quantidade de fases cristalinas, como citado anteriormente.

CONCLUSÕES

A porcelana de ossos possui maior módulo de ruptura e parâmetro de tenacidade à fratura, em relação à tradicional. Estes são fatores importantes a uma porcelana, pois significam uma maior resistência ao impacto e ao lascamento. O tipo de fases cristalinas, bem como quantidade destas em relação à fase vítrea na porcelana de ossos são bem diferentes da porcelana dura, o que explica as diferenças em suas propriedades.

A variação de temperatura, choque térmico, na qual os corpos-de-prova de porcelana de ossos foram submetidos afetaram diretamente a resistência mecânica desse material devido à formação de microtrincas na microestrutura das peças. Os resultados mostram que quanto mais elevada é a temperatura do choque térmico menor será a resistência mecânica da porcelana de ossos.

REFERENCIAS

1. BRAGANÇA, S, R; BERGMAN, C, P. **Produção de porcelana de ossos e caracterização de suas propriedades técnicas**. Cerâmica 52, p. 205-212, 2006.
2. BALLVÉ, M.P; BRAGANÇA, S. R. **Novos fundentes para produção de porcelana de ossos**. Cerâmica 56, p. 57-65, 2010.
3. S.A.F. Batista, P.F. Messer, R.J. Hand, Fracture toughness of bone china and hard porcelain, Br. Ceram. Trans., 100, 6 (2001) 256-258.
4. P. Rado, "Bone china," Ceramics Monographs – A Handbook of Ceramics, Verlag Schmidt GmbH Freiburg i. Brg., 1-10 (1981).
5. K.H. Schüller, Porcelain, Ceramics Monographs – A Handbook of Ceramics, Verlag Schmidt GmbH Freiburg i. Brg. (1979).
6. C. E. L. Franklin, A. J. Forrester, The development of bone china parts I and II,. Trans. J. Br. Ceram. Soc. 74 (4), 141-145. 1975
7. CARÚS, L. A.; BENTO L.; BRAGANÇA, S. R. Avaliação do comportamento reológico de suspensões de ossos bovinos calcinados. Cerâmica 59, p. 539-544, 2013.
8. COOPER, J. J. Bone for Bone China. **British Ceramic Transactions**, v. 94, n. 4, p. 165 - 168, May. – 1995
9. F. N. Cunha-Duncan; R. C. Bradt- Fratura de refratários Cerâmica vol.49 no.312 São Paulo Oct./Dec. 2003
10. SOUMEN, M.; MUKHOPADHYAYH, T. K.; SARKAR, B. K. Strength of Sillimanite Sand Reinforced Porcelain Subjected to Thermal Shock Journal of the European Ceramic society 17 , p. 749 752, 1997.
11. BRAGANÇA, S, R; BERGMAN, C, P. **Produção de porcelana de ossos e caracterização de suas propriedades técnicas**. Cerâmica 52, p. 205-212, 2006.
12. RADO, P., The strange case of hard porcelain, Trans. J. Brit. Cer. Soc., **70** 131-139. (1971)
13. D.P.H Hasselman, Unified Theory of Thermal Shock Fracture Initiation and Crack Propagation in Brittle Ceramics, J.Amer.Ceram.Soc.,**52**, pg. 600-604.

DEVELOPMENT OF BONE CHINA AND ANALYSIS OF ITS MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The bone china stands out among the other porcelains, besides its unique aesthetic properties such as translucency and whiteness, because of its high mechanical strength, reaching values well above the other white ceramics. This paper proposes the production of this porcelain using bones from waste production artifacts of the southern region of the country. The mechanical properties of bone china were studied in this work, by evaluating the flexural strength and fracture toughness. It was also evaluated the thermal shock resistance by means of rapid quenching in water. Data were compared with values obtained for a traditional hard porcelain.

Keywords: china, calcined bones, mechanical tests.