

Caracterização Tecnológica de Cerâmica Branca com Adição de Ossos Bovinos

K.L.M. Guimarães^{a,b}, R.P.D. Araújo^b e D.M. Santos^b

^a *kgguimaraes@hotmail.com*

^b *Universidade Federal do Maranhão*

Resumo

O descarte de resíduos sólidos é visto como um problema ambiental. À medida em que as cidades crescem e os processos produtivos avançam, é necessário buscar um destino adequado para o descarte ou outras alternativas, como o reaproveitamento em outros processos. É o caso dos ossos bovinos, que apresentam propriedades interessantes, podendo ser reaproveitados e incorporados a outros materiais, como na produção cerâmica. A adição de resíduos à massa cerâmica pode agregar benefícios ambientais, estéticos, econômicos e funcionais. Por isso, neste trabalho foi realizada uma análise das propriedades tecnológicas da cerâmica com adição de ossos bovinos. Os resultados mostram que a composição com 30% de resíduos apresentou os melhores resultados, seguidos das misturas com 35% e 55% de ossos. Conforme características, este material é indicado para uso em objetos planos e em utilitários domésticos, sobretudo quando a cor branca for inerente ao produto.

Palavras-chave: *Cerâmica branca, Resíduos, Ossos bovinos.*

White Ceramic Technological Characterization with Cattle Bones Addition

Abstract

The solid waste disposal is perceived as an environmental problem. To the extent that cities grow and the production processes advance, it is necessary to find a suitable destination for the disposal or other alternatives such as the reuse in other processes. This is the case of cattle bones, which have interesting properties and can be reused and incorporated of other materials such as ceramic production. The addition of waste to the ceramic mass can add environmental, aesthetic, economic and functional benefits. Therefore, this paper was carried out an analysis of the technological properties of the white ceramic with the addition of cattle bone. The results show that the composition of waste with 30% showed the best results, followed by mixing with 35% and 55% of bones. As features, this material is suitable for use in flat objects and domestic utilities, especially when the white color is inherent in the product.

Keywords: *White Ceramic, Waste, Cattle Bones.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se entre os maiores produtores de gado no mundo, voltado sobretudo para o abate e consumo da carne. Conforme dados do IBGE, o Brasil teve 8,557 milhões de cabeças abatidas somente até o 2º trimestre do ano de 2013, com um total de 16.685.090 até o mês de setembro, sobretudo nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Minas Gerais [9].

Desta produção, os ossos são um dos resíduos gerados ao final do processo, tornando-se uma matéria-prima acessível, devido à grande disponibilidade em matadouros, açougues, supermercados e demais estabelecimentos alimentícios.

Atualmente, os ossos são utilizados na indústria de fertilizantes e líquidos para extintores. Mais recentemente, passaram a ser empregados na composição de enxertos ósseos e parafusos substitutivos daqueles de titânio, utilizados para recuperação de fratura óssea. Contudo, vale ressaltar que os ossos correspondem a um material de excelentes propriedades, devido à hidroxiapatita, que contribui para a

elevação da resistência mecânica.

Portanto, o reaproveitamento deste resíduo em outros processos produtivos com a finalidade de aprimoramento de outros materiais consiste em uma alternativa, iniciativa proposta inclusive pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, descrito na Lei nº 12.305/ 10 [7].

A adição de resíduos à massa cerâmica contempla benefícios não apenas da prevenção do descarte indevido, mas benefícios estéticos, econômicos e funcionais. Neste trabalho, o foco está no beneficiamento funcional.

2. CERÂMICA

A indústria cerâmica corresponde a um segmento de grande aceitação e possibilidades de crescimento no Brasil devido aos baixos custos envolvidos e à elevada disponibilidade da matéria-prima.

A cerâmica branca é constituída por uma argila com baixa quantidade de óxido de ferro, proporcionando uma tonalidade clara ao produto cerâmico após a sinterização, com variação

tonal entre o bege e o branco.

Segundo Norton [12], as massas mais usuais da cerâmica branca são chamadas de triaxiais. Este nome é devido à sua composição, formada pela mistura de três matérias-primas: a argila plástica misturada ou rica de caulim, o feldspato e o quartzo. Portanto, os produtos gerados são chamados de cerâmicas brancas triaxiais tradicionais.

As triaxiais tradicionais podem ser produzidas com o emprego de três tipos de argilas: os caulins, as argilas plásticas e os filitos cerâmicos [15].

Para este trabalho, a argila plástica de tonalidade branca utilizada é proveniente da Baixada Maranhense, mais precisamente da cidade de Mirinzal. Estudos de caracterização de suas propriedades físico-químicas [11] mostram que a argila desta região possui alto teor de caulinita e de alumínio, que propiciam o alcance de tonalidades claras para a cerâmica sinterizada. Além disso, possui elevada plasticidade, porém baixa resistência mecânica, justificando assim o estudo para aprimoramento das propriedades do material através da incorporação de resíduos capazes de proporcionar este aumento da resistência.

3. RESÍDUOS

O lixo e os resíduos tornaram-se um problema ambiental por não serem descartados em local adequado em grande parte dos processos. Para que impactos ao meio ambiente sejam minimizados, é necessária uma gestão planejada dos resíduos sólidos.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, constituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) [7], orienta acerca de conceitos, classificações e destinação dos resíduos sólidos.

Em seu Art 9º, a lei diz que ao fazer a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, deve-se seguir o seguinte ordenamento hierárquico prioritário:

- 1º Não gerar resíduos sólidos;
- 2º Reduzir a quantidade gerada de resíduos;
- 3º Fazer a reutilização dos resíduos;
- 4º Fazer a reciclagem dos resíduos;
- 5º Realizar o tratamento dos resíduos sólidos;
- 6º Realizar o descarte adequado sob o aspecto ambiental.

Ao seguir esta hierarquia, a reutilização dos resíduos sólidos apresenta-se como um destino adequado para os resíduos que constituem o objeto desta pesquisa, uma vez que eles não deixarão de ser gerados devido ao elevado consumo de carne e extração do couro.

Neste contexto, o reaproveitamento destes resíduos pode garantir consequências positivas para a indústria cerâmica, pois ao fazer o reaproveitamento dos ossos, que são resíduos inertes [1], eles não emitem gases poluentes quando submetidos à queima; há também economia de matéria-prima; e ao economizar matéria-prima natural, é possível evitar prejuízos ambientais quando novas escavações e a extração de novas jazidas são evitadas. Além disso, as suas características podem interferir positivamente nas propriedades da cerâmica. Sendo assim, não há impedimento para se fazer a reutilização deste material.

3.1 Ossos bovinos

Os ossos são compostos por partes orgânicas e inorgânicas. A parte orgânica é constituída por fibras e glicoproteínas. A inorgânica é constituída por bicarbonato, citrato, magnésio, sódio e potássio, além do cálcio e do fósforo, existentes sob a

forma de cristais de hidroxiapatita.

A hidroxiapatita trata-se da fase mineral dos ossos e constitui uma cerâmica naturalmente encontrada em ossos e dentes [4], que pode auxiliar no aumento da resistência mecânica do material.

Dentre os materiais cerâmicos, segundo Gouvêa [8], já existe a porcelana proveniente de cinza de ossos, também chamada de *bone china*.

Produzida na Inglaterra há pelo menos duas décadas, esta porcelana é ainda pouco utilizada no Brasil. A composição da massa conhecida como “porcelana de ossos” originou-se em trabalhos de Josiah Wedgwood. Suas pesquisas desenvolveram a “cerâmica branca”, que resultaram na louça de mesa inglesa - composta por caulim (*china-clay*), argila plástica branca (*ball-clay*), sílica (*calcined flint*) e pedra de Cornwall (*Cornish stone*) com alto teor de feldspato – e também na porcelana de ossos – composta tradicionalmente por 50% de ossos calcinados, de 25% a 30% de caulim e argila e o restante de pedra de Cornwall, característica da região [15].

A *bone china* também pode ser encontrada como a mistura de cinza de ossos (o mesmo que pó de ossos bovinos calcinados), juntamente com feldspato potássico, quartzo, caulim e argila. A proporção das matérias-primas pode variar, sendo também de 25% de caulins e de argilas, 25% de feldspato e 25% de cinzas de ossos, substituindo a porcentagem do quartzo [3].

Para esta porcelana, os ossos precisam passar por uma etapa inicial de lavagem, para que sejam extraídos componentes orgânicos residuais tais como gorduras e sangue que são capazes de comprometer na qualidade final das peças. Para isso, a lavagem é realizada com uma escova e água limpa. Gouvêa [8] ressalta a importância da retirada dos resíduos ao explicar que muitos fatores podem exercer influência na qualidade dos ossos bovinos calcinados, como as etapas de preparação, com a lavagem dos ossos, o envelhecimento do material e a temperatura utilizada no processo de queima dos ossos.

Outra etapa que auxilia na total eliminação de resíduos é a calcinação dos ossos. A calcinação corresponde à sinterização das moléculas e desprendimento de possíveis impurezas residuais, quando submetida a altas temperaturas em fornos. As temperaturas elevadas auxiliam ainda na cristalinidade da hidroxiapatita, proporcionando estabilidade química e térmica. É realizada com temperaturas que podem variar entre 900° e 1000°C [8].

A porcelana de ossos permite obter produtos com excelentes características estéticas, como alvura, translucidez, fino acabamento, elevada resistência mecânica e superfície menos porosa. Além disso, Bragança e Bergmann [6] dizem que “comparando-se a outros tipos de porcelanas, a porcelana de ossos é a que apresenta maior tensão de ruptura à flexão e à laminação, além de maior tenacidade”.

4. MÉTODOS E TÉCNICAS

O estudo foi desenvolvido com ossos bovinos encontrados em açougues de São Luís conforme disponibilidade local, juntamente com argilas plásticas de tonalidade branca pós queima, provenientes do interior do Estado do Maranhão, no município de Mirinzal, da Baixada Maranhense.

As massas foram compostas pela mistura de caulim, pó dos ossos calcinados, argila plástica, quartzo, feldspato e a água. O feldspato utilizado foi o ortoclásio, que corresponde ao feldspato potássico (KAlSi₃O₈). O caulim branco, o feldspato e o quartzo são provenientes de um fornecedor da região de São Paulo - marca Hobby Cerâmica Comércio Artesanato LTDA para o caulim e o feldspato, e marca Triarte Comércio de

Material Cerâmico LTDA para o quartzo.

Para efeito comparativo das características e desempenho do material, serão produzidos corpos de prova da cerâmica branca triaxial tradicional, com a mistura de argila plástica, caulim, feldspato, quartzo e água, conforme percentuais descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Componentes da cerâmica branca tradicional triaxial.

Cerâmica branca tradicional triaxial	
Materiais	Porcentagem
Caulim	40%
Argila plástica	10%
Quartzo	25%
Feldspato	25%
Água	+15%

Fonte: Arquivo pessoal.

Os percentuais de cada material para a produção dos corpos de prova são mostrados na Tabela 2. As porcentagens trabalhadas foram em 30%, 35%, 40%, 45%, 50% e 55% de resíduos, com a confecção de três (3) corpos de prova para cada uma delas.

Tabela 2: Porcentagem proposta para os componentes utilizados nas misturas.

Cerâmica branca com adição de resíduos						
Materiais	Teste #1	Teste #2	Teste #3	Teste #4	Teste #5	Teste #6
Resíduo	30%	35%	40%	45%	50%	55%
Caulim	45%	40%	35%	30%	25%	20%
Argila plástica	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
Quartzo	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
Feldspato	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Água	+18%	+18%	+18%	+18%	+18%	+18%

As variáveis se restringiram às porcentagens de resíduo e caulim da mistura. Todos os demais materiais tiveram sua porcentagem mantida e juntamente com as temperaturas de secagem e sinterização.

Houve apenas uma diferença na quantidade de água em relação à cerâmica branca triaxial tradicional para que fosse possível a conformação dos corpos de prova, pois durante a realização de pré-testes, os corpos de prova que continham resíduos e uma adição de água em 15%, quebraram. Assim, a quantidade de água utilizada para a cerâmica triaxial se manteve em 15% como orienta a literatura, mas passou para 18% na cerâmica com ossos.

A calcinação dos ossos e a sinterização dos corpos de prova foi realizada em forno elétrico. A calcinação é realizada a 1000°C.

A temperatura inicial de queima é de 30°C, com elevação de 3,54°C/min, chegando à temperatura máxima após 5:30 horas de queima. A temperatura máxima de sinterização é de 1200°C, com patamar de queima de quatro (4) horas de duração. Após isso, a temperatura cai gradualmente, atingindo em torno de 40°C ao final das 24 horas de sinterização.

Após sinterizados, as massas e as dimensão de todos os corpos de prova são identificadas. Além disso, são identificadas as massas imersas e úmidas, ao colocar as peças em água por até 24 horas. Estes dados são importantes para aplicação das equações seguintes, essenciais para análise das propriedades tecnológicas do material.

4.1 Propriedades tecnológicas

A caracterização é realizada por meio da análise de características físicas do material, totalizando cinco propriedades abordadas: absorção de água, porosidade, massa aparente específica, perda ao fogo e retração linear após secagem e após a queima.

a) Análise da absorção de água: para este estudo, utilizou-se como referência o Método de Arquimedes de imersão para obtenção das massas e posterior utilização da equação 1:

$$AA (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A.A = Absorção de água (%);

Mu = Massa úmida (g);

Ms = Massa após secagem (g).

b) Análise da porosidade: após a secagem, é feita a identificação da massa seca, depois é feita a identificação da massa úmida e aplicação da equação 2 a partir do mesmo procedimento de imersão utilizado para a absorção de água:

$$PA = \frac{Mu - Mq}{Vq} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PA = Porosidade aparente (%);

Mu = Massa úmida (g);

Mq = Massa após queima (g);

Vq = Volume após queima (g).

c) Densidade aparente ou massa aparente específica: neste estudo, a densidade aparente será calculada pela razão entre a massa e o volume (produto entre a largura, o comprimento e a espessura) dos corpos de prova, identificados após a sinterização, e resumida com a equação 3 da Norma ASTM C373-88:

$$DA = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde:

D = Densidade (g/cm³);

M = Massa da peça queimada (g);

V = Volume da peça queimada (cm³).

d) Perda ao fogo: esta propriedade diz respeito à quantidade de água e matéria orgânica existente no material, que são dissipados durante a queima e influenciam nas dimensões finais da peça. Assim, é construído um gráfico que mostra a relação entre a porcentagem de perda de material à medida em que mais resíduo é incorporado. Para isso, há aplicação da equação 4 em cada corpo de prova:

$$PF (\%) = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

PF = Perda ao fogo (%);

Ms = Massa após secagem (g);

Mq = Massa após queima (g).

e) Retração linear: Após o processo de conformação, os corpos de prova são medidos, onde se identifica sua largura, comprimento e espessura. Os corpos são secados em estufa a 110°C por 24 horas e são medidos novamente. Os corpos de prova passam pela etapa de sinterização e depois são medidos pela última vez. A retração linear dos corpos de prova pode ser calculada pela diferença entre as dimensões dos corpos de

prova crus e as dimensões após serem submetidos à queima. É calculada através da equação 5, encontrada na NBR 13818 [2]:

$$RL (\%) = \frac{L_o - L}{L_o} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

R_L = Retração linear (%);

L_o = Comprimento do corpo-de-prova seco à 110°C (mm);

L = Comprimento do corpo-de-prova queimado à temperatura máxima (mm).

4.2 Desvio padrão

Para a interpretação dos dados após a aplicação das equações referentes às propriedades tecnológicas, foi identificado o parâmetro de dispersão dos resultados - o desvio padrão - por meio da equação 6.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (6)$$

Onde:

DP = desvio padrão;

X_i = valores do conjunto de dados;

\bar{X} = média dos resultados.

4.3 Gráficos

Para exposição e análise dos resultados encontrados, foi utilizado o *software* Origin PRO. Os dados são tabelados no programa, onde é possível a elaboração dos gráficos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os vinte e um (21) corpos de prova foram produzidos em laboratório, sendo dezoito (18) com ossos, mostrados na Figura 1, e os demais como cerâmica triaxial, na Figura 2.



Figura 1: Corpos de prova de cerâmica branca com ossos bovinos. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 2: Corpos de prova de cerâmica branca triaxial. Fonte: Arquivo pessoal.

Após conformados, passaram pela secagem em estufa durante 24 horas a 110°C. Por fim, foram sinterizados em forno elétrico a 1200°C.

Todos os valores encontrados à partir das medições, pesagens e aplicação das equações matemáticas foram utilizados para preencher a Tabela 3.

Tabela 3: Valores de propriedades tecnológicas. Fonte: Elaborado pelo autor.

	AA	DP	PA	DP	MEA	DP	PF	DP	RLs	DP	RLq	DP
Ossos Bovinos												
0%	7,01	0,69	14,36	1,31	2,04	0,02	6,88	0,27	0,16	0,16	9,27	0,23
30%	16,48	0,17	28,23	0,80	1,71	0,03	8,28	0,06	0,04	0,07	4,55	0,30
35%	16,96	0,24	29,31	0,38	1,72	0,002	7,69	0,006	0,00	0,00	3,80	0,19
40%	20,78	0,23	34,08	0,63	1,64	0,02	6,96	0,11	0,08	0,07	1,67	0,14
45%	21,89	0,13	35,52	0,07	1,62	0,01	6,60	0,11	0,08	0,07	1,42	0,14
50%	19,68	0,42	32,94	0,63	1,67	0,004	6,03	0,02	0,08	0,14	2,34	0,07
55%	14,25	0,72	25,93	1,40	1,82	0,006	5,75	0,03	0,12	0,12	3,88	0,63

Onde: AA = absorção de água; DP = desvio padrão; PA = porosidade aparente; MEA = massa específica aparente; PF = perda ao fogo; RLs = retração linear pós-secagem; RLq = retração linear pós-queima.

Os gráficos foram desenvolvidos com estes valores, para interpretação e análise de cada uma das propriedades tecnológicas abordadas nesta pesquisa.

5.1 Absorção de água

A Figura 3 apresenta o comportamento dos corpos de prova em relação aos índices de absorção de água (AA) à medida em que a adição de ossos bovinos é realizada nas composições.

A absorção de água apresentou-se superior à da triaxial. Na cerâmica com ossos, a absorção aumentou à medida em que mais resíduo foi acrescentado até a porcentagem de 45%.

Respectivamente para composições de 30%, 35%, 40% e 45% de resíduo, a média aritmética de absorção de água ficou em 16,48%, 16,96%, 20,78% e 21,89%. A partir de 50%, a absorção começa a diminuir na mesma proporção das porcentagens anteriores, com 19,68% de AA, alcançando 14,25% de absorção para composições de 55% de ossos.

Segundo Souza et al [16], a absorção de água influencia em outras propriedades como a resistência mecânica à flexão, onde, quanto menor for o índice de absorção de água, mais resistente será a cerâmica, portanto as composições de 30% e 55% de adição de ossos apresentaram os melhores resultados.

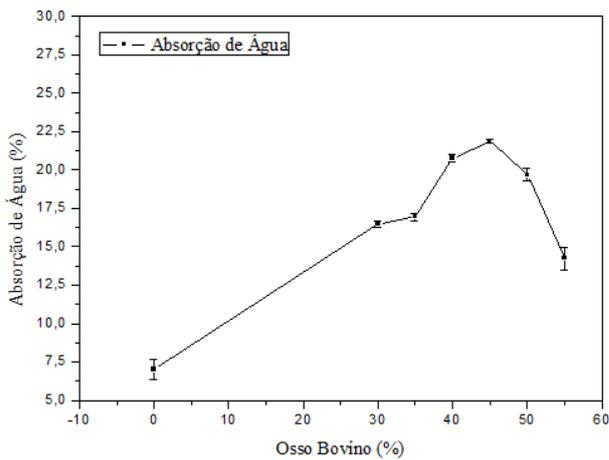


Figura 3: Gráfico de absorção de água para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Existe ainda uma classificação utilizada para revestimentos acerca da absorção de água, utilizada pela Associação Nacional de Fabricantes Cerâmicos (ANFER) e certificada pelo Inmetro, que divide os revestimentos em porcelanato, grês, semi-grês, semi-poroso e poroso, em relação ao índice de A.A. (ver Tabela 4). Esta classificação encontra-se na NBR 13818 [2].

Tabela 4: Classificação dos revestimentos cerâmicos.

A.A (%)	Classe	Denominação	Característica
≤ 0,5	BI a	Porcelanato	Baixa absorção e alta resistência mecânica
> 0,5 a ≤ 3,0	BI b	Grês	Baixa absorção e alta resistência mecânica
> 3,0 a ≤ 6,0	BII a	Semi-grês	Média absorção e média resistência mecânica
> 6,0 a ≤ 10,0	BII b	Semi-poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica
> 10,0	BIII	Poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT 13818 (1997) e website do Inmetro.

Conforme esta classificação, as composições de 30%, 35% e 55% com ossos podem ser classificadas como semi-porosas e as de 40%, 45% e 50% como porosas. No *website* do Inmetro, o Instituto orienta que placas cerâmicas com absorção acima de 10% devem ser utilizadas como revestimento de parede devido à alta absorção e baixa resistência mecânica. Desta forma, as composições de 40%, 45% e 50% possuem esta indicação de utilização em produtos.

Portanto, as composições de 30%, 35% e 55% apresentam-se como as mais satisfatórias quanto ao índice de absorção. E estando o índice de absorção relacionado à resistência da peça, o baixo índice de AA proporciona a confecção de produtos mais resistentes.

5.2 Porosidade

Na Figura 4, o gráfico demonstra o comportamento dos corpos de prova em relação aos índices de porosidade ao adicionar percentuais dos ossos bovinos nas composições.

Como a absorção de água possui relação direta com a porosidade, os dados comprovam que a porosidade aumentou e diminuiu de forma semelhante ao índice de AA nos corpos de prova. Observou-se que houve um aumento significativo no índice de porosidade em relação à triaxial.

A cerâmica com ossos apresentou um percentual mínimo de 28,23% de porosidade para a cerâmica a 30% de

ossos e um percentual máximo de 35,52% de PA a 45% de resíduos, caindo para 32,94% de PA nas composições de 50% de resíduos e para o índice mais baixo em todo o teste, com 25,93% de PA nas composições com 55% de ossos.

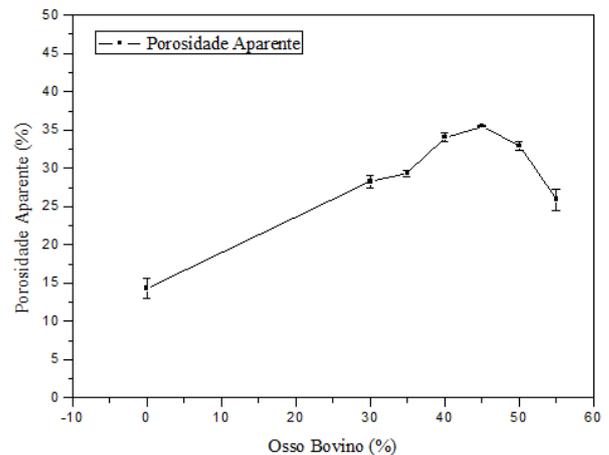


Figura 4: Gráfico de porosidade aparente para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

O aumento do índice de porosidade pode exercer influências positivas ou negativas ao corpo cerâmico pois, segundo Askeland e Wright [4], se por um lado a porosidade exerce influencia nas propriedades mecânicas, facilitando o início de trincas e maior fragilidade da peça, por outro lado, pode ainda proporcionar maior resistência ao choque térmico. Porém, esta pesquisa não possui foco na resistência ao choque, priorizando, portanto, corpos mais resistentes, com um índice de porosidade menor possível.

Desta maneira, as cerâmicas produzidas com 30% e 55% de ossos apresentaram os resultados mais satisfatórios quanto à porosidade aparente.

5.3 Densidade (DA)

A Figura 5 mostra o gráfico relacionado à densidade, no qual apresenta o comportamento dos corpos de prova em relação às massas específicas aparentes, encontradas à medida em que a adição de ossos bovinos é realizada nas composições.

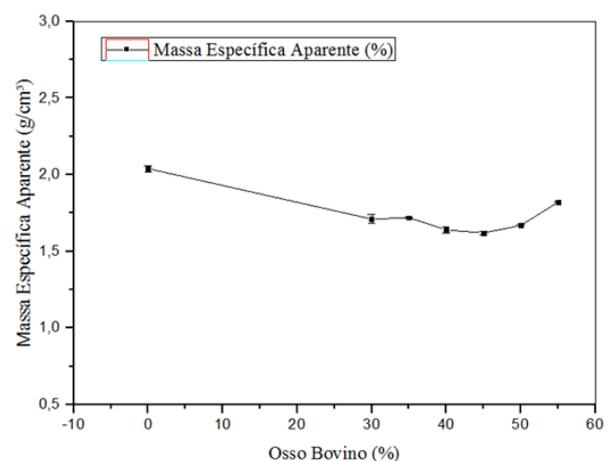


Figura 5: Gráfico de densidade para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico mostra as MEA's semelhantes nas duas primeiras composições de 30% e 35% de resíduos, com valores de 1,71 e de 1,72 g/cm³, seguido de uma queda gradual nas composições de 40% e 45%, com 1,64 e 1,62 g/cm³ de MEA. Nas composições seguintes a curva começa a ascender e alcança os valores de 1,67 e 1,82 g/cm³ de MEA para 50% e

55% de adição de resíduos.

Desta forma, os resultados encontrados apresentaram concordância com o esperado, pois à medida em que a porosidade dos corpos de prova diminuiu, a densidade aumentou, e quando a porosidade aumentou, a densidade diminuiu. Este comportamento ocorre porque, segundo Jung et al [10], quanto maior for a densificação das peças, menor é a quantidade de poros.

Quanto menor for o número de poros, uma maior resistência mecânica será apresentada pelo produto, portanto é desejável uma cerâmica de maior densidade. Desta maneira, as cerâmicas produzidas com 55%, 35% e 30% de ossos apresentaram os resultados mais satisfatórios quanto à MEA, nesta ordem.

Vale ressaltar que Oliveira [13] explica que uma densidade elevada (superior a 2,1 e 2,2 g/cm³) pode dificultar na eliminação de gases existentes no interior das peças durante a etapa de queima, causando problemas superficiais tais como bolhas e trincas. Portanto, sendo o maior valor da densidade ainda menor que os descritos pelo autor, os melhores resultados da cerâmica de ossos continuam sendo das composições de 55%, 35% e 30% de resíduos.

5.4 Perda ao fogo

Na Figura 6, o gráfico que demonstra o comportamento dos corpos de prova em relação à perda ao fogo ao adicionar percentuais dos ossos bovinos nas composições.

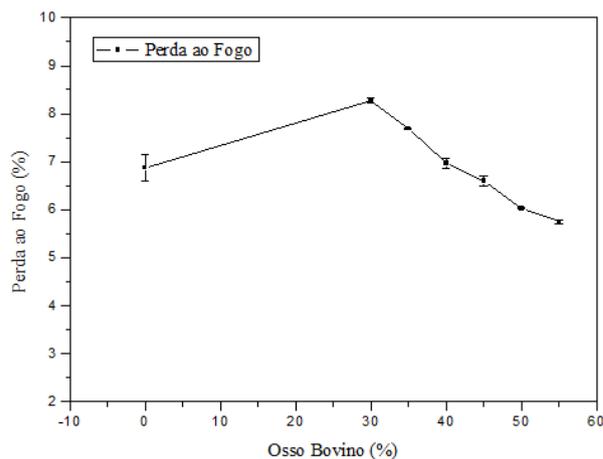


Figura 6: Gráfico de perda ao fogo para cerâmicas com adição de ossos bovinos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico mostra uma linha decrescente à medida em que o material possui uma maior quantidade de resíduos. A perda ao fogo demonstra a quantidade de substâncias voláteis e matéria-orgânica existente na composição, eliminados durante a queima [15]. Isto significa que maiores perdas ao fogo indicam maior quantidade de água e de matéria orgânica que são eliminadas durante a queima.

Portanto, é preferível que esta perda seja a menor possível, para que haja pouca diferença dimensional antes e depois da queima e para que menos matéria-prima seja perdida. Ou seja, com valores de perda ao fogo em 8,28%, 7,69%, 6,96%, 6,60%, 6,03% e 5,75%, pode-se concluir que quanto mais pó de ossos bovinos é acrescentado à cerâmica, menor é a quantidade de matéria orgânica existente no material.

As composições de 45%, 50% e 55% com resíduo apresentaram os percentuais de perda ao fogo inferiores à cerâmica triaxial. Acredita-se que isto seja decorrente tanto da introdução do resíduo para substituir a argila, que naturalmente possui mais matéria orgânica, quanto pelo

processo de queima anterior em que os ossos são submetidos. Eles são calcinados a 1000°C, onde a matéria orgânica restante é despreendida.

5.5 Retração linear após secagem

Com relação à retração linear, foram desenvolvidos gráficos para demonstração do comportamento dos corpos de prova em dois momentos do processo: após a secagem (RLs) e após a queima (RLq).

No primeiro momento, a Figura 7 mostra o gráfico da retração linear ocorrida após a secagem à medida em que os percentuais de ossos bovinos foram acrescentados.

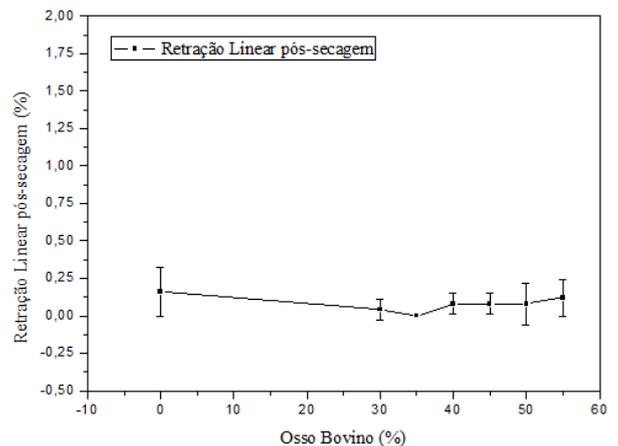


Figura 7: Gráfico de retração linear após secagem para cerâmicas com adição de ossos bovinos.
Fonte: Elaborado pelo autor.

A retração linear demonstra as diferenças dimensionais do comprimento dos corpos de prova, ocorrida entre a conformação e após a secagem.

A composição de 30% de resíduo apresentou 0,04% de RLs. Há uma queda para misturas a 35% de resíduo com 0,0% de RLs, seguida de uma estabilidade na retração, com misturas de 40%, 45% e 50% em valores de 0,8% de RLs. Por fim, a retração volta a subir, alcançando 0,12% de RLs em composições de 55% de resíduo.

Em resumo, a retração linear após a secagem se manteve constante, com pequenas diferenças entre as composições.

5.6 Retração linear após queima

Em um segundo momento, a RLq demonstra as diferenças dimensionais do comprimento dos corpos de prova ocorridas entre a secagem e após a queima.

A Figura 8 mostra o percentual de retração linear dos corpos de com ossos bovinos após a queima. Na análise do gráfico, a retração linear após a queima diminui gradualmente até as composições com 45% de adição de ossos, com valores de 4,55%, 3,80%, 1,67% e 1,42%, e começa a aumentar novamente a partir da adição de 50%, com 2,34% de RLq e 3,88% de RLq nas composições de 55% de resíduo.

É importante quantificar esta retração para que seja possível prever o tamanho final das peças produzidas e evitar o aparecimento de trincas e imperfeições. Durante a queima, a sinterização das moléculas faz com que diminua os espaços existentes entre as moléculas e uma conseqüente diminuição do tamanho dos poros, que interferem na retração do tamanho das peças. Assim, o controle dimensional proporciona uma conseqüente qualidade das peças [10].

Portanto uma retração menor é mais desejável, para maior similaridade do resultado final da peça e menor

possibilidade de aparecimento de trincas nas peças. Neste contexto, as composições com 45% e 40% de resíduo de ossos apresentaram os melhores resultados nesta ordem, quanto à sua retração linear após queima.

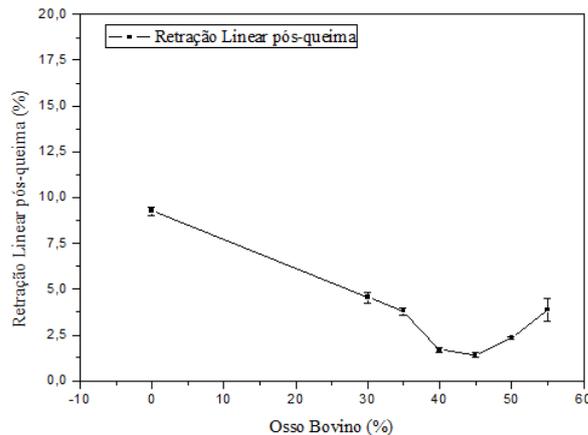


Figura 8: Gráfico de retração linear após queima para cerâmicas com adição de ossos bovinos.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Oliveira [13], algumas características são inerentes aos materiais utilizados como revestimento e uma delas é possuir “máxima estabilidade dimensional durante a queima”, com retração linear de queima abaixo de 1%. Portanto, as composições de cerâmica branca com adição de ossos bovinos não possuem indicação para serem utilizadas como revestimento, quanto à retração linear de queima. Sugere-se então a aplicação em objetos utilitários.

Além dos dados numéricos que mostram os índices de retração linear, o registro fotográfico comprova as diferenças dimensionais ocorridas, como mostra a Figura 9 com os corpos de prova triaxial T1 e com ossos bovinos OB30/1. Vale ressaltar que todos os corpos de prova foram produzidos com o mesmo molde.

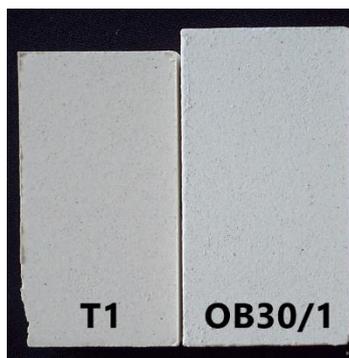


Figura 9: Diferentes retrações dos corpos de prova.
Fonte: Arquivo pessoal.

6. CONCLUSÕES

Após a análise e discussão dos resultados obtidos, chegou-se à algumas conclusões quanto à cerâmica branca produzida com adição de ossos bovinos:

- As composições com os percentuais de 30%, 35% e 55% de resíduo apresentaram os melhores resultados, nesta ordem;
- Quanto aos índices de absorção de água e de porosidade, as composições de 30%, 35% e 55% são indicadas para uso em revestimentos variados e as composições de 40%, 45% e 50% são indicadas para revestimento de parede, porém esta utilização deve ser evitada. Com uma

mediana retração linear, muitos defeitos e irregularidades podem ser encontradas no produto final;

- Indicada para uso em utilitários domésticos;
- Indicada para produtos que necessitem de coloração branca;
- Indicada para produtos que necessitem de bom acabamento superficial.

Ainda que a pesquisa demonstre que os melhores resultados obtidos na análise das propriedades tecnológicas foram provenientes das cerâmicas com os menores percentuais de resíduos propostos nesta pesquisa, a substituição do mínimo de 30% de matéria-prima por sobras de outros processos produtivos já representa ganho à indústria.

Ao substituir, há diminuição de custos de aquisição de matéria-prima e há diferenciação nas características funcionais e estéticas para os produtos desenvolvidos com a cerâmica branca beneficiada.

REFERÊNCIAS

- [1]. ABNT. NBR 10004: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.
- [2]. ABNT. NBR 13818: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 1997.
- [3]. ALATRISTA, Gerardo Augusto Vera. **Preparação e estabilização de uma suspensão cerâmica de porcelana de ossos**. São Paulo: da USP, 2008. 88 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- [4]. ASKLAND, Donald R; WRIGHT, W. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2014.
- [5]. ASTM C373-88: Standart Test Method for Water Absortion, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, 2006.
- [6]. BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. **Produção de porcelana de ossos e caracterização de suas propriedades técnicas**. Revista Cerâmica 52 (2006). Pág 205-212. 2006.
- [7]. BRASIL. Constituição de 1988. **BRASIL**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.
- [8]. GOUVÊA, D. et al. **Efeito da temperatura de calcinação nas propriedades de ossos bovinos para a fabricação de porcelana de ossos**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n328/a1453328.pdf>. Acesso em: 13 nov 2013.
- [9]. IBGE, BRASIL. **Indicadores IBGE**: Estatística da Produção Pecuária Setembro de 2013. 2013. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropec_uaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_publ_completa.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2014.
- [10]. JUNG, M.; CAMISA, I. S.; ALBANAZ, I.; PEREIRA, S. L. S.; CARGNIN, M. **Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas**. 2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinenses – SICTU SUL. Revista técnico científica, v.3, n. 1, 2012. Disponível em <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/viewFile/623/442>. Acesso em: 16 fev. 2015.

- [11]. MOREIRA, P.B.W.; SILVA, J.W.; RODRIGUES, J.R.P.; SANTOS, A.O.; SANTOS, D.M.; CARACAS, L.B.; SILVA, A.C. **Caracterização das propriedades físico-químicas das argilas utilizadas em indústrias de cerâmica vermelha na Baixada Maranhense.** VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 31 de julho a 3 de agosto. São Luís, 2012.
- [12]. NORTON, Frederick Harwood. **Introdução à tecnologia cerâmica.** Tradução: Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- [13]. OLIVEIRA, A. P. N. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos.** – Cerâmica Industrial, v. 5, n. 6, Nov/ Dez, 2000. Disponível em: << http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n06/v5n6_6.pdf>>. Acesso em 16 fev 2015.
- [14]. RIGO, E. C. S.; GEHRKE, S. A.; CARBONARI, M. **Síntese e caracterização de hidroxiapatita obtida pelo método de precipitação.** Revista Dental Press de Periodontia e Implantologia, 1 (3): 39-50, Jul/ Set, 2007.
- [15]. SANTOS, Pérsio de Sousa. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras.** São Paulo: Edgard Blücher, 1975.
- [16]. SOUZA, A.K.B; AQUINO, E.F; SANTOS, P.G.; DANTAS, M.A.; FELIPE, R.N.B. **Análise da Influência da absorção da umidade na resistência à flexão de piso cerâmico.** I CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Natal, 2006. Disponível em: < http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20090505_091000_IND%20064.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2015.