

Análise das propriedades tecnológicas da cinza do caroço de açaí na cerâmica vermelha
Analysis of the technological properties of ash from seed the açaí in red ceramic
Análisis de las propiedades tecnológicas de las cenizas de piedra de açaí en cerámica
roja

Recebido: 05/07/2020 | Revisado: 16/07/2020 | Aceito: 04/08/2020 | Publicado: 12/08/2020

Taiana da Silva Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4910-3767>

Universidade Federal do Pará, Brazil

E-mail: taianadsf@gmail.com

Felipe José Marques Mesquita

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1589-1868>

Universidade Federal do Pará, Brazil

E-mail: felipejmesquita@gmail.com

Júnior Hiroyuki Ishihara

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0081-7913>

Universidade Federal do Pará, Brazil

E-mail: hiroyuki_jr@hotmail.com

Paulo Sérgio Lima Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0328-7655>

Universidade Federal do Pará, Brazil

E-mail: paseliso@ufpa.br

Resumo

Os materiais de construção civil têm ganhado cada vez mais exigências para se tornarem mais sustentáveis, tanto pela ciência como também pelo mercado, principalmente por se tratar de um ramo que consome grande quantidade de matérias primas, gerando também muito resíduo. A busca por soluções que possibilitem o reuso ou a reciclagem de resíduos sólidos devem agregar soluções práticas e econômicas, que gerem benefícios para a sociedade e o meio ambiente. No presente estudo foi incorporada a cinza do caroço do açaí proveniente da queima dos produtos da própria indústria na massa da cerâmica vermelha para avaliar o melhor teor de substituição de cinzas (nos teores de 0%, 10%, 15% e 20%) na composição cerâmica, buscando subsidiar tecnicamente e ambientalmente o descarte desse resíduo sólido.

Os resultados demonstraram que mesmo com a incorporação dos teores de Resíduos do Caroço de Açaí - RCA, as propriedades de resistência mecânica, porosidade aparente e absorção mantiveram-se dentro dos padrões mínimos. Destaca-se que o teor de 10% de cinza como substituto parcial da argila vermelha foi a que apresentou melhor desempenho nas propriedades tecnológicas avaliadas. Constatou-se que a cinza do caroço do açaí possui viabilidade técnica e ambiental quando inserido de forma parcial, possibilitando zerar o RCA através das indústrias cerâmicas, pois o resíduo da cinza que era gerado após a queima nos fornos, poderá ser incorporado como matéria prima nos próprios produtos cerâmicos.

Palavras chave: Argila; Cerâmica vermelha; Resíduo; Sustentabilidade.

Abstract

Civil construction materials have been gaining more and more demands to become more sustainable, both by science and also by the market, mainly because it is a sector that consumes a large amount of raw materials, also generating a lot of waste. The search for solutions that enable the reuse or recycling of solid waste must add practical and economical solutions that generate benefits for society and the environment. In the present study, ash from the açaí stone from the burning of products from the industry itself was incorporated into the mass of red ceramics to evaluate the best ash substitution content (in the contents of 0%, 10%, 15% and 20%) in the ceramic composition, seeking to subsidize technically and environmentally the disposal of this solid waste. The results showed that even with the incorporation of the contents of Residues from Açaí Seed - RCA, the properties of mechanical resistance, apparent porosity and absorption remained within the minimum standards. It is noteworthy that the 10% ash content as a partial substitute for red clay was the one that showed the best performance in the evaluated technological properties. It was found that the ash from the açaí core has technical and environmental viability when partially inserted, making it possible to reset the RCA through the ceramic industries, since the ash residue that was generated after burning in the kilns, can be incorporated as raw material in the ceramic products themselves.

Keywords: Clay; Red ceramics; Residue; Sustainability.

Resumen

Los materiales de construcción civil han ido ganando más y más demandas para ser más sostenibles, tanto por la ciencia como por el mercado, principalmente porque es un sector que consume una gran cantidad de materias primas, generando también una gran cantidad de

resíduos. La búsqueda de soluciones que permitan la reutilización o el reciclaje de residuos sólidos debe agregar soluciones prácticas y económicas que generen beneficios para la sociedad y el medio ambiente. En el presente estudio, las cenizas de la piedra de açá de la quema de productos de la propia industria se incorporaron a la masa de cerámica roja para evaluar el mejor contenido de sustitución de cenizas (en los contenidos de 0%, 10%, 15% y 20%) en el composición cerámica, que busca subsidiar técnica y ambientalmente la eliminación de estos residuos sólidos. Los resultados mostraron que incluso con la incorporación de los contenidos de Residuos de Caroço de Açá - RCA, las propiedades de resistencia mecánica, aparente porosidad y absorción permanecieron dentro de los estándares mínimos. Es de destacar que el 10% de contenido de cenizas como sustituto parcial de la arcilla roja fue el que mostró el mejor rendimiento en las propiedades tecnológicas evaluadas. Se descubrió que la ceniza del núcleo de açá tiene viabilidad técnica y ambiental cuando se inserta parcialmente, lo que permite restablecer el RCA a través de las industrias cerámicas, ya que el residuo de ceniza que se generó después de la quema en los hornos, se puede incorporar como materia prima. en los productos cerámicos mismos.

Palabras clave: Arcilla; Cerámica roja; Residuo; Sustentabilidad.

1. Introdução

O uso dos recursos naturais na construção civil e a geração de resíduos no século XXI têm aumentado gradativamente, pois a produção de materiais de construção utilizados neste setor vem sendo cada vez maior (Lintz et al., 2012, Santos et al., 2012). Dessa forma, é importante o desenvolvimento de estudos e de novas tecnologias sustentáveis, cujo ensejo principal está em atender as demandas do cenário econômico, ambiental e social.

A sustentabilidade na construção civil está sendo amplamente discutida, seja no intuito de estratégia empresarial ou mesmo na própria necessidade da reutilização de materiais que possam minimizar os problemas referentes à degradação ambiental (Lucena, 2007). Neste sentido, Zhang et al. (2014) ressalta que é necessário urgentemente se aplicar princípios de desenvolvimento sustentável às práticas da indústria da construção.

Uma das maneiras encontradas para se adequar aos princípios da sustentabilidade é recorrendo a utilização de produtos recicláveis. O uso da reciclagem abrange técnicas para o aproveitamento de resíduos e de rejeitos, introduzindo novamente ao ciclo de produção (Menezes et al., 2002). Os autores destacam ainda, que a importância da reciclagem de resíduos não é somente para redução do uso de recursos naturais, mas para a preservação da

fauna e flora, diminuições de emissões de poluentes, menor consumo de energia e melhoria da saúde da população.

Silva (2013) afirma que o setor cerâmico é muito utilizado na construção civil e que devido à alta demanda de mercado, o aumento da exploração de matérias – primas é eminente. As indústrias cerâmicas pertencem a um tipo de comércio bastante competitivo, portanto, o aumento da escala produtiva se faz necessária para atendimento do alto consumo, o que conseqüentemente acarreta na degradação ambiental (Almeida, 2015).

Segundo Carvalho et al. (2017), diversos setores industriais produzem cinzas durante os processos produtivos. Esse tipo de resíduo gerado também por agroindústrias pode ser aproveitado em materiais da construção civil, a exemplo das cinzas da casca de arroz e do bagaço da cana-de-açúcar, que têm apresentado resultados positivos quando adicionados em materiais cimentícios.

No caso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, os resultados do trabalho de De Faria, Gurgel, De Holanda (2012) indicam que o uso de até 10 % em peso deste resíduo utilizado como substituto de argila natural na fabricação de cerâmica vermelha mostraram-se satisfatórios em termos de retração linear, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à compressão.

Segundo Rocha (2013) a utilização do resíduo do caroço do açaí juntamente com lenha nativa e serragem já é amplamente aproveitado como fonte energética em algumas indústrias de cerâmicas na região do município de São Miguel do Guamá – PA. Este uso deveu-se a escassez crescente da lenha nativa, bem como o maior controle fiscal por parte dos órgãos ambientais estaduais e federais.

Essa demanda como fonte energética para os fornos vem ocorrendo, principalmente pelo aumento da produção de açaí no Brasil, em especial na Região Amazônica, onde, segundo Serra (2019), em 2017, o fruto chegou em 3º lugar entre as frutas mais produzidas no país, além do cenário nacional, o produto tem ganhado espaço internacional, a exemplo dos Estados Unidos que está entre os países que mais utiliza o fruto como matéria-prima para produtos industrializados; neste mesmo ano, a produção estimada do fruto no país foi de mais de 1,3 milhões de toneladas, sendo que, cerca 85% do fruto corresponde ao RCA (Almeida et al. 2017).

Dada a prática da queima do caroço do açaí como fonte de energia térmica para produção de insumos cerâmicos, este gera as cinzas como resíduos que são descartados no meio ambiente (Rocha, 2013). Uma possível solução seria o reaproveitamento desse rejeito na composição do material cerâmico argiloso.

As cinzas são formadas pelo processo de combustão de um combustível sólido, sendo considerado material contaminante ao meio ambiente. Esse tipo de aproveitamento de energia é muito utilizado no Brasil, produzindo dessa forma, elevadas quantidades de resíduos (Santos, 2016). Silva (2013) afirma que o processo de queima de biomassa produz grandes quantidades de cinzas e esse tipo de produto contém altas taxas de sílica e de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos.

Na região de Cádiz, Sul da Espanha foi utilizado às cinzas obtidas do processo de incineração de biomassa como substituto parcial da argila nas proporções de 10%, 20%, 30% 40% e 50% em experimentos para a produção de tijolos cerâmicos, incluindo o tijolo sem adição para fins comparativos. O estudo demonstrou que teores acima de 20% de cinzas na mistura começaram a comprometer a qualidade do material, gerando o aumento da absorção de água e diminuição das propriedades de resistência a compressão do material (Perez & Vilarejo, 2010).

La Casa (2014) afirma que países mediterrâneos como a Espanha são grandes produtores de azeite, e geram grandes quantidades de bagaço de azeitona, sendo essa biomassa bastante aproveitada em usinas de biomassa para produção de calor e eletricidade. A cinza produzida representa de 4% a 8% dos resíduos queimados e a disposição ocorre normalmente em aterros próximos a essas usinas. Utilizando estas cinzas de azeitonas, Bonet-Martínez et al. (2018) concluíram que a incorporação de até 25% destas cinzas em tijolos de argila, o material cerâmico mostrou-se satisfatório para serem usadas na construção, viabilizando econômica e sustentavelmente, sem perda da qualidade do produto.

O presente estudo incorporou a cinza do caroço do açaí proveniente da queima dos produtos da própria indústria na massa da cerâmica vermelha e avaliou o melhor teor de substituição de cinzas na composição cerâmica, buscando subsidiar tecnicamente e ambientalmente o descarte desse resíduo sólido através da possibilidade de zerar o RCA através das indústrias cerâmicas, pois o resíduo da cinza que atualmente é gerado após a queima nos fornos, poderá ser incorporado como matéria prima nos próprios produtos cerâmicos.

2. Metodologia e Procedimentos Experimentais

2.1 Metodologia

Trata-se de uma pesquisa aplicada com abordagem qualitativa, sendo que algumas características básicas identificam os estudos denominados qualitativos. Segundo esta perspectiva, o pesquisador interpreta e opina sobre os dados coletados. A mesma também pode ser considerada quantitativa, devido a coleta de informações numéricas que demonstram matematicamente o resultado do que se quer explicar. A correlação dos dois métodos pode complementar uma ao outro, e assim permitir o melhor entendimento do estudo (Pereira A.S et al.2018)

Em relação ao tipo, a pesquisa é caracterizada como descritiva e exploratória. A pesquisa descritiva vem descrever as características de uma determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre variáveis (Gil, 2008). Como qualquer exploração, a pesquisa exploratória depende da intuição do explorador (neste caso, do pesquisador). Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (Gil, 2008).

Considerando a natureza das informações pretendidas nesta pesquisa, optou-se pelo procedimento do delineamento – estudo de caso. Segundo Santos (2006) trata-se de uma modalidade de pesquisa muito específica, pois consiste no estudo profundo e exaustivo de um único objeto ou de poucos objetos (um caso particular), especificamente nesta pesquisa são os resíduos do caroço do açaí. Depende fortemente do contexto do estudo e, seus resultados não podem ser generalizados.

2.2 Matérias – Primas

A cinza do RCA foi coletada após queima em forno de uma olaria em Breu Branco-PA, o qual utilizou apenas o caroço de açaí para queima dos produtos cerâmicos. O resíduo coletado foi processado no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Universitário de Tucuruí (LEC-CAMTUC) utilizando o equipamento de Abrasão Los Angeles para a redução granulométrica. A redução consistiu em inserir 5 kg de resíduo de RCA na máquina “Los Angeles” juntamente com doze esferas de ferro fundido e aplicar 1000 rotações. O material passou pelo procedimento duas vezes, para atingir a granulometria especificada.

A argila utilizada neste estudo foi coletada em uma jazida em Breu Branco-PA. A caracterização das argilas foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Universitário de Tucuruí (LEC-CAMTUC) seguindo as recomendações da norma NBR 7181 (ABNT, 2017), que determina a análise granulométrica do solo utilizando o peneiramento ou pela combinação de sedimentação e peneiramento.

A secagem das argilas foi feita em estufa com a temperatura a 100 °C por 24 horas. Para análise granulométrica foram utilizadas as duas amostras de argilas passadas na peneira Nº 10 (2,00 mm) e posteriormente pesadas, sendo 120 gramas de cada material para verificação de solos mais arenoso e 70 gramas para solos siltosos e argilosos. Os corpos de prova foram confeccionados utilizando argila vermelha (AV) e a argila escura (AE).

A composição química das amostras foi determinada por meio do ensaio de fluorescência de raios X realizado no espectrômetro da Panalytical, série Axios, modelo PW 4400/40 pertencente ao laboratório de química da empresa DOW localizada no município de Breu Branco – PA. A leitura dos resultados foi realizada no software SUPERQ 5.1B, aplicação Om. O ensaio de fluorescência apresenta a composição elementar das amostras de maneira quantitativa e qualitativa, ou seja, são apresentados os elementos que estão presentes nos materiais e suas respectivas quantidades (Gouveia, 2008)

A difratometria de raios X (DRX) das amostras foi realizada utilizando equipamento da marca Bruker modelo D8 Advance, com Goniômetro (Theta\Theta) e tubo de raios X cerâmico de ânodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$). O detector utilizado foi LYNXEYE. Foram utilizados softwares DIFFRAC.COMMANDER, para a aquisição de dados e o DIFFRAC.EVA versão V3.0 para o tratamento de dados. Essa análise possui o intuito de verificar se as amostras das matérias-primas apresentavam fases cristalinas, assim como demonstrar os minerais presentes nas mesmas.

2.3 Confeções dos corpos de prova

As composições das massas cerâmicas foram realizadas no Laboratório de Cerâmica Vermelha – LACER localizado em São Miguel do Guamá - Pa, utilizando as proporções de 0%, 10%, 15% e 20% de resíduo em substituição das argilas.

As composições foram misturadas no estado seco, de forma manual, conforme as porcentagens adotadas (Tabela 1), para garantir a homogeneidade da mistura. Em seguida, foram umedecidas com água para obter a conformação da massa, e, posteriormente deixada em repouso por 24h para melhorar a plasticidade.

Tabela 1. Composição da massa cerâmica com resíduo de RCA.

TEOR DE CINZA %	% EM VOLUME DE MATÉRIA PRIMA		QUANTIDADE DE CORPO DE PROVA
	Argila Vermelha	Argila Escura	
0	100	0	20
	50	50	20
10	90	0	20
	45	45	20
15	85	0	20
	42,5	42,5	20
20	80	0	20
	40	40	20
TOTAL			160

Fonte: Autores (2020).

Foram confeccionados vinte corpos de prova para a argila vermelha e vinte para argila escura, nos percentuais com ou sem substituição das cinzas de RCA. Esses teores de cinzas de RCA foram baseados em estudos realizados pelo pesquisador Perez – Vilarejo (2010), que verificou que o aumento de cinza em massa cerâmica pode alterar de forma significativa a resistência à compressão e no aumento da absorção das peças cerâmicas.

A quantidade de corpos de prova confeccionados foi de acordo com os ensaios tecnológicos adotados na pesquisa, pois mediante aos resultados pode-se fazer uma melhor análise dos resultados.

A conformação das peças foi realizada por extrusão a vácuo utilizando a maromba a vácuo SERVITCH 200 kg/hora. A Figura 1 demonstra o momento da extrusão da massa.

Figura 1. Extrusão da massa cerâmica.



Fonte: Autores (2020).

Após a conformação da massa, estas eram cortadas nas dimensões das peças de 112 mm de comprimento x 27 mm de largura e 19 mm de espessura, e postas para serem identificadas em lotes e separadas para secagem. Nesse processo era verificado se a massa

tinha obtido o grau de umidade suficiente para compactação e se a mesma não apresentava quebra.

A secagem das peças foi realizada após a conformação na temperatura ambiente (28°C aproximadamente) em um período de 48h. O forno do tipo mufla 1300 °C com capacidade de 10 litros foi utilizado para o processo de queima dos corpos de prova em seguida sinterizados na temperatura de 950 °C no ciclo de queima de 12 horas.

A Figura 2 apresenta os corpos de prova na composição de referência (sem incorporação de cinza) e com os teores de 10%, 15% e 20% após a sinterização de 950°C. Os corpos de provas foram queimados separadamente por apresentarem matéria-orgânica em sua composição, e, portanto, suscetíveis a sofrer combustão do material.

Figura 2. Corpos de prova sinterizados.



Fonte: Autores (2020).

As peças foram colocadas em temperatura ambiente e aquecidas de 2,2°C/ min até atingir 200 °C o primeiro patamar em 90 minutos, em seguida, de 200 °C para 300 °C em 30 minutos, de 300 °C para 500 °C em 60 minutos e de 500 °C a 650 °C em 240 min, pois, nessa faixa acontece a perda de água da estrutura, portanto, o aquecimento deve ser lento. E no último estágio de aquecimento, na temperatura de 650 °C para 950 °C, o procedimento foi realizado em 130 min.

2.4 Determinação das propriedades tecnológicas

Os ensaios físicos foram realizados após a queima dos corpos de prova para a determinação da absorção de água, flexão porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão.

O ensaio de absorção de água foi baseado nos procedimentos da norma NBR 15270 (ABNT, 2017). A porosidade aparente é determinada pelo método gravimétrico e é definida como o percentual da porosidade aberta existente do corpo de prova. O ensaio foi baseado na norma ASTM 373:88.

Após a moldagem, foram medidos os comprimentos dos corpos de prova utilizando o paquímetro, em seguida, foram submetidos à secagem natural, a secagem em estufa e a sinterização, para determinação da retração linear seguindo as recomendações do autor Souza Santos (1989).

A tensão de ruptura à flexão é um ensaio que verifica a resistência mecânica das peças cerâmicas, no qual uma carga é aplicada no corpo de prova entre a distância de dois cutelos de apoio. A norma NBR 13818 (ABNT, 1997) foi utilizada como parâmetro para realização destes ensaios.

3. Caracterização das Matérias Primas

3.1 Análise granulométrica

Souza Santos (1989) afirma que a granulometria fina de partículas que constitui a argila pode influenciar na reatividade entre as partículas durante a etapa de queima, enquanto que, partículas grosseiras que podem ocasionar trincas de resfriamento.

De acordo com os dados obtidos, constatou-se que a argila vermelha (AV) é composta por 40% de argila ($\emptyset < 0,002\text{mm}$), 33% de silte ($0,002 < \emptyset < 0,02\text{mm}$) e 28% de areia ($0,02 < \emptyset < 0,2\text{mm}$).

Na composição da amostra da argila escura (AE), a quantidade de argila foi de 38%, silte 39% e areia 23%, esses valores foram conferidos na segunda amostra contendo o mesmo material e os dados obtidos foram similares.

Nota-se que a argila vermelha apresenta percentuais maiores de argila, seguida de silte e por último de areia. Na argila escura, a porcentagem de silte foi praticamente equivalente a da argila. A granulometria do resíduo apresentada está relacionada à faixa dimensional da areia conforme a NBR 7211 (ABNT, 2019). O do diâmetro máximo do grão

foi de 1,1 mm e o módulo de finura correspondente foi de 1,88. Portanto, o mesmo pode fazer parte das misturas de granulometrias constituintes da massa cerâmica, tendo em vista que esse tipo de material possui partículas distintas em sua formação.

3.2 Composição química e mineralógica

De acordo com a análise química realizada observa-se que as argila vermelha, argila escura e as cinzas de RCA são constituídas principalmente de SiO₂, apresentando 67,16%, 67,93% e 38,67% respectivamente. Os teores de Al₂O₃ foram encontrados na argila vermelha (24,78%), na argila escura (24,16%) e na cinza de RCA (6,19%). Também na cinza de RCA foram verificadas as presenças de 13,02% de P₂O₅, 22,95% de K₂O, que podem ser decorrentes do solo e dos produtos agrícolas utilizados no cultivo do açaí conforme Cordeiro et al.,(2019). Os óxidos contidos na matéria prima e nas cinzas de RCA, como SiO₂, K₂O e CaO possuem o efeito fundente e podem auxiliar na redução da porosidade (SOUZA SANTOS, 1989). A Tabela 2 apresenta os resultados das composições químicas das amostras da argila vermelha, argila escura e da cinza de RCA obtidas por meio da fluorescência de raios X.

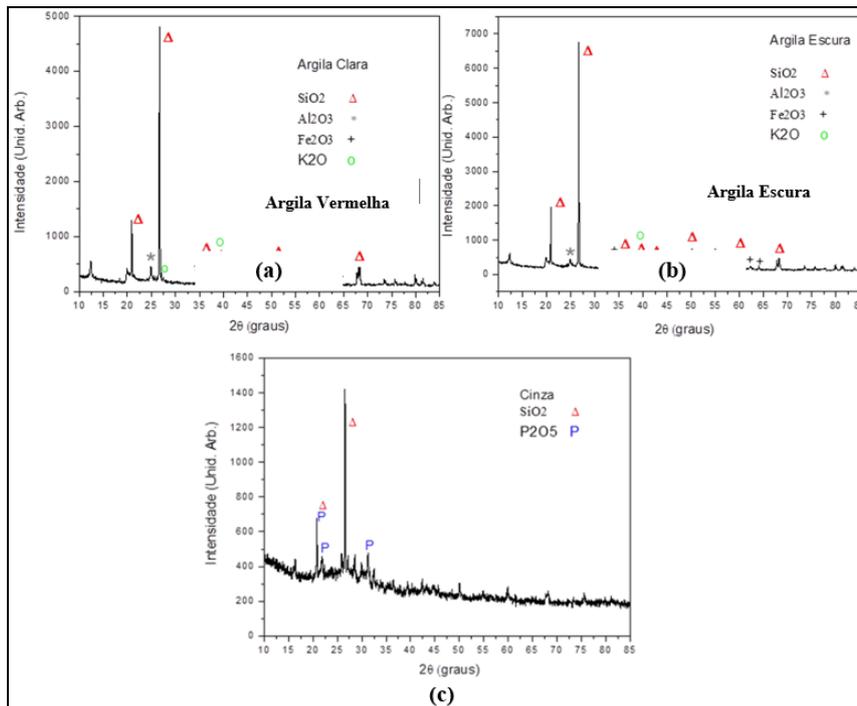
Tabela 2. Composição química das argilas e das cinzas de RCA.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA (%)		
	Argila Vermelha	Argila Escura	Cinza de RCA
Na ₂ O	0,06	0,05	0,22
MgO	0,80	0,80	3,06
Al ₂ O ₃	24,78	24,16	6,19
SiO ₂	67,16	67,93	38,67
P ₂ O ₅	0,12	0,12	13,02
SO ₃	0,02	0,02	2,01
Cl	0,03	0,03	0,47
K ₂ O	1,15	1,16	22,95
CaO	0,02	0,02	6,09
TiO ₂	1,36	1,26	0,92
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,02
MnO	0,02	0,02	0,51
Fe ₂ O ₃	4,32	4,35	5,74
NiO	0,01	0,01	0,02
CuO	0,00	0,00	0,08
ZnO	0,01	0,00	0,01
Rb ₂ O	0,00	0,00	0,03
SrO	0,00	0,01	0,01
ZrO ₂	0,03	0,03	0,02
BaO	0,05	0,00	0,00
CeO ₂	0,05	0,05	0,00
Co ₃ O ₄	0,01	0,01	0,00
Ga ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00
PbO	0,50	0,00	0,00
Rh	0,00	0,01	0,00

Fonte: Autores (2020).

Na Figura 3 estão apresentados os resultados do difratograma de raios X da argila vermelha (a) e argila escura (b) das cinzas de RCA (c).

Figura 3. Difratoograma de raios X das amostras: argila vermelha (a), argila escura (b) e cinzas de RCA(c).



Fonte: Autores (2020).

Nas amostras das argilas vermelha, escura e nas cinzas de RCA foi identificada a presença de quartzo (SiO_2), sendo que o maior grau de cristalinidade foi observado nas amostras das argilas.

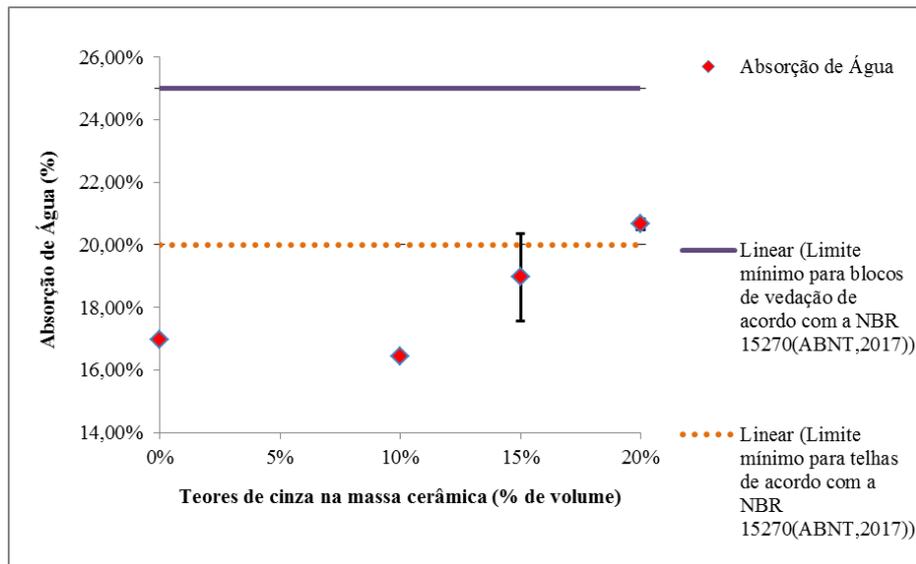
Outras fases cristalográficas foram encontradas, como Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O confirmando os resultados obtidos pela técnica de fluorescência. No difratograma da cinza de RCA foram identificadas a fase cristalográfica cúbica do quartzo e a fase cristalográfica ortorrômbica do óxido de fósforo (P_2O_5).

4. Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas

4.1 Absorção de água

A Figura 4 apresenta o gráfico com os valores obtidos do ensaio de absorção nos corpos de prova de 0% (referência), 10%, 15% e 20% de substituição de argila vermelha por cinza do resíduo do caroço de açaí (RCA).

Figura 4. Absorção de água dos corpos de prova contendo AV .

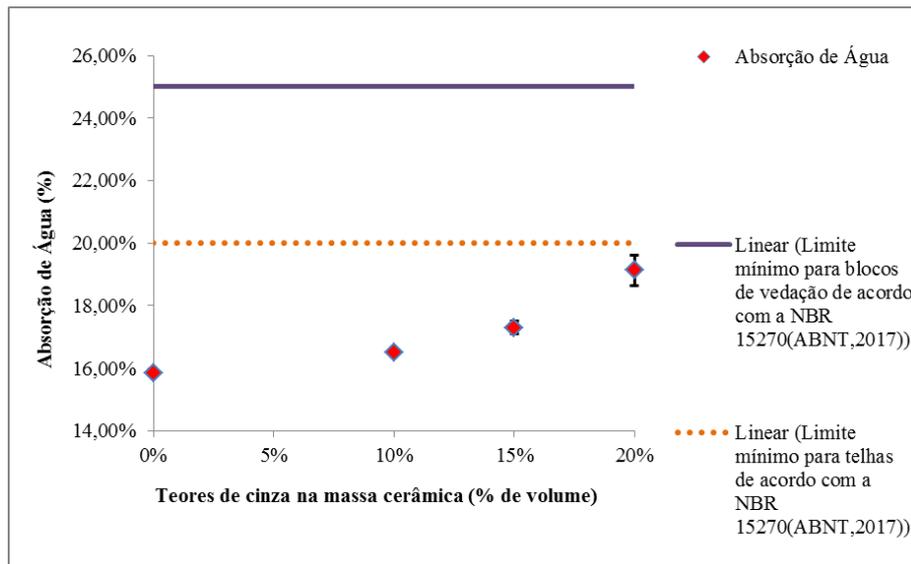


Fonte: Autores (2020).

De acordo com os resultados, é possível verificar a redução da porcentagem de absorção de água para o traço de 10% quando comparado com os corpos de prova de referência, observa-se também que as variações nas amostras de 15% e 20% de cinza influenciaram no aumento da absorção de água. Também é visto que o valor de 20% de RCA está acima do limite permitido pela norma de telhas, no entanto dentro da faixa admitida da norma de blocos de vedação.

A análise de absorção de água nas amostragens contendo metade de argila escura e metade de argila vermelha indicou um aumento gradativo conforme o aumento da substituição de RCA. Porém, apresentaram resultados dentro dos limites máximos tanto para blocos quanto para telhas, conforme recomendações normativas (Figura 5).

Figura 5. Absorção de água dos corpos de prova contendo 50% de AV e 50% de AE.



Fonte: Autores (2020).

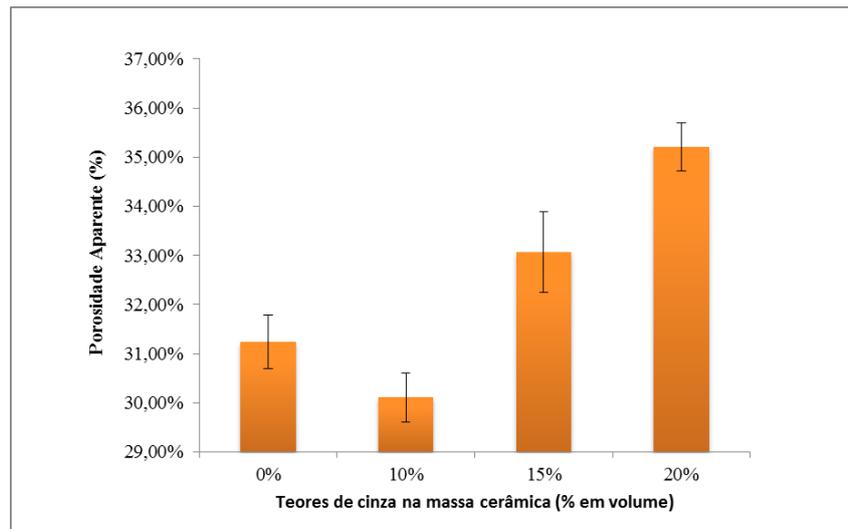
Observa-se que o aumento do teor de cinzas de RCA influenciou na absorção de água pela matriz cerâmica, esse tipo de comportamento pôde ser comprovado por Cruz (2012), o qual obteve valores similares, quando incorporou cinzas da lenha aveloz na massa cerâmica para produção de telhas e tijolos. O referido autor verificou que teores acima de 15% de cinzas ocasionam aumento da absorção de água, e que os teores até 10% possuem pouca variações de valores.

De acordo com Santos (2016), a quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira incorporada na massa cerâmica, foi favorável no teor 10% em peso do resíduo para temperaturas acima de 900 °C. O autor afirma que as formulações contendo teores de cinzas apresentaram comportamento variável de acordo com as mudanças de temperatura.

4.2 Porosidade Aparente

Na Figura 6, encontra-se os valores de porosidade aparente dos corpos de prova com a massa cerâmica contendo argila vermelha com e sem as cinzas de RCA.

Figura 6. Porosidade aparente dos corpos de prova contendo AV.

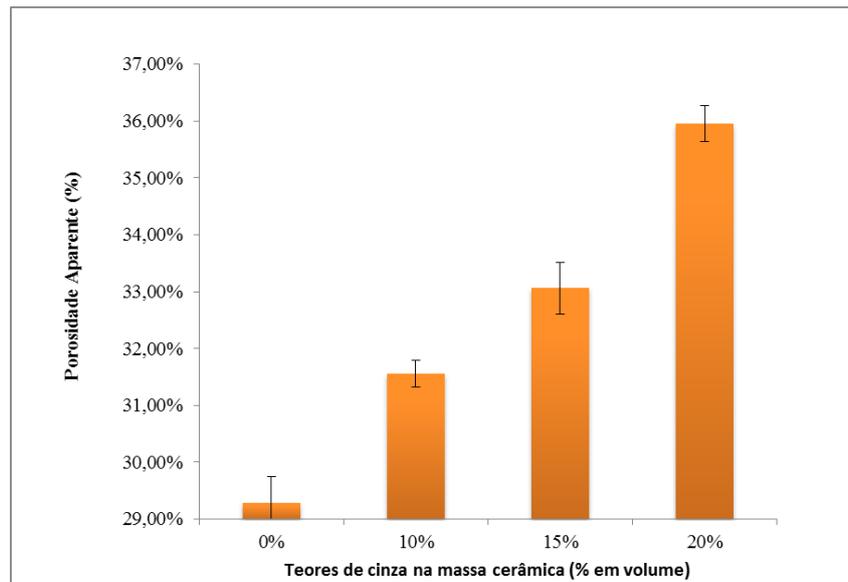


Fonte: Autores (2020).

Verifica - se que a composição contendo 10% de RCA diminui a porosidade aparente enquanto as maiores substituições de cinzas aumentaram a porosidade na massa cerâmica. Observa-se que o teor de 20% ultrapassou os limites de 35% estabelecidos por Souza Santos (1989).

Os valores de porosidade aparente dos corpos de prova com a massa cerâmica contendo 50% de argila vermelha e 50% de argila escura com e sem RCA estão apresentados na Figura 7.

Figura 7. Porosidade aparente dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.



Fonte: Autores (2020).

De acordo com os resultados, a incorporação de cinzas na mistura aumentou a porosidade aparente. É importante destacar que a composição contendo 20% de cinzas incorporada a massa ultrapassou o limite estabelecido de até 35% sugerido por Souza Santos (1989).

É possível verificar que o aumento de porosidade está relacionado com a quantidade de cinzas de RCA substituída na massa cerâmica, pois quanto maior a porcentagem do resíduo na composição, maior será a porosidade da peça, que por sua vez pode estar relacionado a decomposição de carbonatos presentes nas cinzas de RCA, influenciando dessa forma a compactação da microestrutura do material.

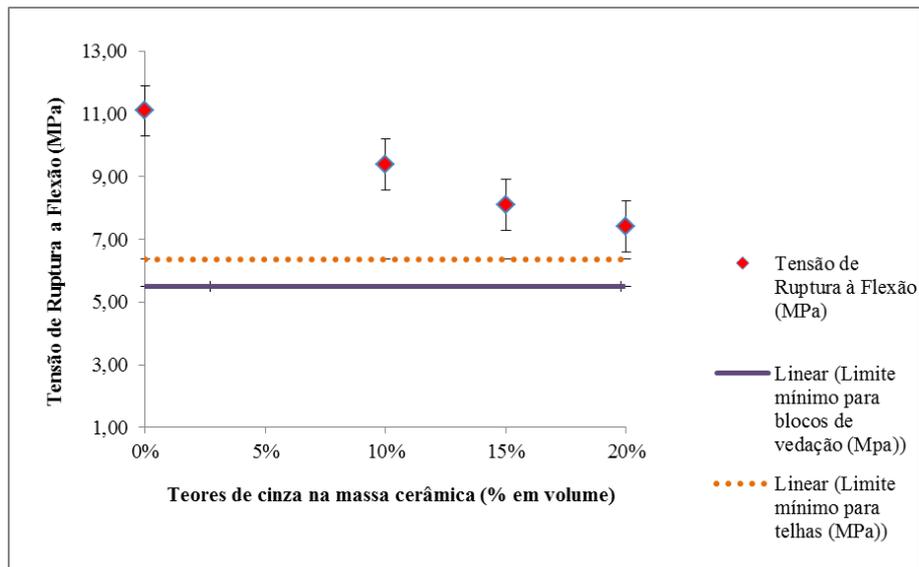
4.3 Tensão de ruptura à flexão

Na Figura 8 contém os valores para resistência mecânica referente à flexão de três pontos de dez corpos de prova cerâmicos com a formulação de argila vermelha, com e sem teores de cinzas incorporadas, avaliados na temperatura de 950 °C.

Souza Santos (1989) sugere que os valores mínimo de tensão de ruptura a flexão após a queima, para telhas devem ser de 6,37MPa, enquanto para blocos furados seja de 5,5 MPa. Na linha tracejada indicada na figura é observado que todos os índices de substituições atenderam as recomendações do autor.

De acordo com os dados apresentados, a massa cerâmica contendo de 10% de cinzas de RCA obteve o melhor resultado, sendo este de 9,40 MPa, ultrapassando os valores que foram estabelecidos por Souza Santos (1989), já o teor de 20% provocou a redução de resistência.

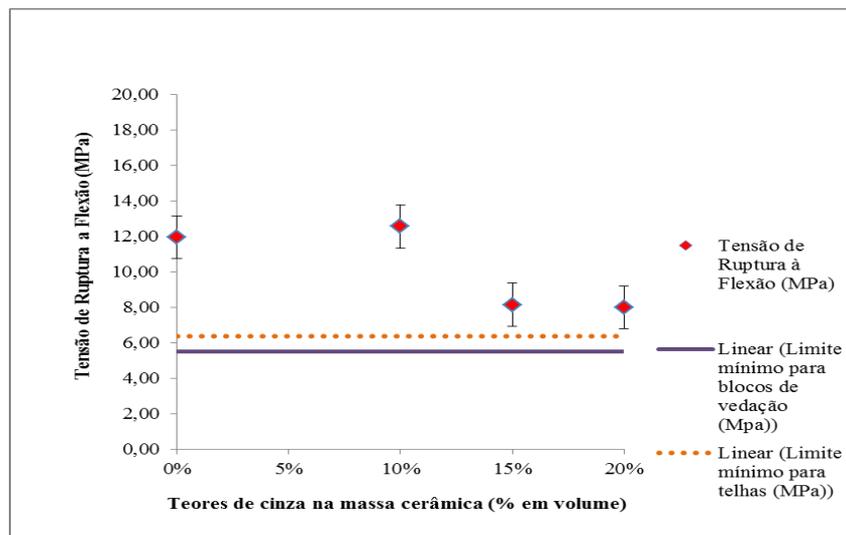
Figura 8. Tensão de ruptura à flexão (TRF) dos corpos de prova contendo AV.



Fonte: Autores (2020).

Os resultados da TRF da formulação da massa cerâmica contendo 50% de argila vermelha e 50% de argila escura com e sem adição de cinza pode ser verificado na Figura 9.

Figura 9. TRF dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.



Fonte: Autores (2020).

Analisando o comportamento mecânico dos corpos de prova, é visto que o aumento do quantitativo de substituição de cinzas em sua composição influenciou no aumento da absorção de água, e, na redução da TRF, que por sua vez está relacionado ao aumento da porosidade do material.

É possível relacionar os valores absorção de água com a resistência mecânica, pois quanto maior for o teor de cinza, maior será a porosidade e conseqüentemente maior será a absorção de água. Vale ressaltar que essas propriedades estão diretamente relacionadas ao grau de empacotamento da massa, perda de massa durante a queima e quantidade de teores de óxidos fundentes.

Conforme os resultados obtidos, a incorporação de cinza que apresentou o melhor resultado de tensão a ruptura a flexão foi referente a 10% (12,56 MPa) em que o mesmo chegou a ultrapassar o valor da peça de referência. Com relação às recomendações de Souza Santos (1989), foram satisfatórios todos os valores alcançados pelas formulações utilizadas neste estudo.

De acordo com os resultados obtidos, o aumento do percentual de cinzas de RCA influencia diretamente na diminuição da resistência mecânica das peças cerâmicas. Essa redução pode ser ocasionado pela liberação de carbonatos presentes no resíduo, o que pode provocar posteriormente no aumento da porosidade do material cerâmico e na absorção de água dos mesmos.

5. Considerações Finais

O presente trabalho é pioneiro na utilização de RCA incorporado a produção cerâmica. O RCA tem demonstrado potencial de aproveitamento na produção de materiais da construção civil, tendo resultados positivos como adição na cerâmica e no concreto, conforme estudo de Cordeiro (2019).

A coleta do RCA para a queima dos produtos cerâmicos e as cinzas provenientes desta queima foram utilizadas na confecção de corpos de prova com teores de adição de 0%, 10%, 15% e 20% de cinzas na composição de massas argilosas e posteriormente realizados ensaios de desempenho tecnológicos.

Os resultados mostraram que a utilização no teor de 10% da cinza de RCA contribuiu positivamente no desempenho dos corpos de prova de argila vermelha, diminuindo a porosidade aparente, absorção de água e aumentando a resistência mecânica, propriedades relevantes para produção de telhas e tijolos.

As composições contendo a argila vermelha, argila escura e cinza de RCA apresentou aumento na porosidade aparente e elevação gradativa da absorção de água. Os valores de resistência mecânica foram maiores para todas as misturas com cinzas, superando a faixa padrão sugeridas por Souza Santos (1989), portanto todos os valores obtidos foram satisfatórios.

Este trabalho demonstrou a viabilidade técnica para o fechamento do ciclo de vida do caroço do açaí, utilizando o RCA na alimentação de fornos cerâmicos e reaproveitando as cinzas oriundas da queima na produção de materiais cerâmicos, evitando o descarte na natureza e diminuição na extração da argila de jazidas naturais.

Complementarmente a este estudo, é importante a realização de trabalhos futuros que avaliem a incorporação (mistura) das cinzas do caroço de açaí junto as argilas utilizadas nas indústrias cerâmicas. Além disso, uma pesquisa sobre a viabilidade econômica da utilização do caroço de açaí, tanto para alimentar as fornalhas, quanto para incorporação na cerâmica (utilizando-se as cinzas) é de suma importância para fomentar seu uso nas indústrias cerâmicas, principalmente do Estado do Pará, onde situa-se a maior produção do mundo.

Referências

Almeida, A. V. C., et al. (2017). Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, [S.l.], 12(3), 59, set. ISSN 1984-2430.

ABNT. NBR 15270-2. (2107). *Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos e Tijolos para alvenaria - Métodos de Ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro. 29p.

ABNT. NBR 13818 (1997). *Placas Cerâmicas para Revestimento - Terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro. 78p.

ASTM. (2006). ASTM C 373-88 - *Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products*. West Conshohocken: ASTM International.

Almeida, A. V. C., Melo, I. M., Pinheiro, I. S., Freitas, J. F., & Melo, A. C. S. (2017). Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Bauru, 12(3), 59-83.

Bonet-Martínez, E., Pérez-Villarejo A, L., Eliche-Quesadaad., Sánchez-Sotob, P.J., Carrasco-Hurtadoc, B., Castro-Galianoa, E. (2018). Manufacture of sustainable clay ceramic composite with composition SiO₂-Al₂O₃-CaO-K₂O materials valuing biomass ash from olive pomace. *Materials Letters*. 229, 21-25.

Cordeiro, L. N. P., et al. (2019). Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto. *Ambiente Construído*, [s.l.], 19(1), 45-55. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000100292>.

Cruz, F. J. R. (2012). Utilização de cinzas de aveloz de fornos cerâmicos para produção de tijolos e telhas. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco. (Dissertação de Mestrado).

De Faria, K. C. P., Gurgel, R. F., De Holanda, J. N. F. (2012). Influência da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. *Revista Matéria (Rio de Janeiro)*. 17(3), 1054-1060. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762012000300003>.

La Casa, J. A., et al. (2014). Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, Jaén, Spain, 61, 320-326.

Lintz, R. C. C., et al. (2012). Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. *Revista IBRACON Estruturas e Materiais*, São Paulo, 5(2), 166-181.

Menezes, R. R., Neves, G. A., & Ferreira, H. C. (2002). O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, 6(2), 303-313.

Pérez-Villarejo, L., et al.(2010). Recycling of ash from biomass incinerator in clay matrix to produce ceramic bricks. *Journal of Environmental Management*, (Jaén), Spain, (95), 349-354.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Santos, F. F., Tambara Junior, L. U. D., Cechin, N. F., Almeida, V. L., & Sousa, M. A. B. (2012). Adequação dos Municípios do Estado do Rio Grande do Sul à Legislação de Gestão de Resíduos da Construção Civil. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 4, 1-18.

Santos, F. (2016). Influência do resíduo de cinza de serragem de madeira nas propriedades técnicas de cerâmica vermelha. Curso de Mestrado em Engenharia dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Uenf, Campos dos Goytacazes – RJ (Dissertação de mestrado).

Santos, P. S. (1989). *Ciencia e Tecnologia de Argilas*. (2a. ed.). São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989. 408 p.

Serra, F.R. (2019). Açai- Análise mensal - maio 2019. Histórico Mensal Açai – Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Recuperado de <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai>>.

Silva, A. M. F. D. (2013). Incorporação de cinza de capim-elefante em cerâmica vermelha. Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ (Dissertação de mestrado).

Zhang, X., Wu, Y., Shen, L., Skitmore, M. (2014). A prototype system dynamic model for assessing the sustainability of construction projects. *International Journal of Project Management*, 32, 66-76.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Taiana da Silva Ferreira – 40%

Felipe José Marques Mesquita – 20%

Júnior Hiroyuki Ishihara – 20%

Paulo Sérgio Lima Souza – 20%