

CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ VERMELHO PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAL POZOLÂNICO

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JÚNIOR¹, FERNANDA FERNANDES DE MELO LOPES², HELEN CAROLLINE MACEDO OLIVEIRA³, JOSÉ PINHEIRO LOPES NETO⁴, GUTTEMBERG DA SILVA SILVINO⁵

¹ Mestrando no PPG em Engenharia Agrícola - UFCG, Rua Aprígio Veloso, nº 882, Bloco CK, bairro Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, PB, Brasil. ronaldopicui@hotmail.com

² Professora do Departamento de Solos e Engenharia Rural – UFPB. Rodovia PB-079, s/n, CEP 58397-000, Areia, PB, Brasil. fndlopes@gmail.com

³ Engenheira Agrônoma – UFPB. Rodovia PB-079, s/n, CEP 58397-000, Areia, PB, Brasil. helencarollinamac.o.hc@gmail.com

⁴ Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UFCG, Rua Aprígio Veloso, nº 882, Bloco CK, bairro Universitário, CEP 58429-900, Campina Grande, PB, Brasil. lopesneto@gmail.com

⁵ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural – UFPB. Rodovia PB-079, s/n, CEP 58397-000, Areia, PB, Brasil. guttemberg@cca.ufpb.br

RESUMO: Um dos principais problemas na produção do arroz está centrado na quantidade de resíduo gerado nessa atividade, cerca de 20% corresponde a casca, que na maioria das vezes é descartada de forma inadequada. A cinza oriunda da queima controlada da casca do arroz pode fornecer um material pozolânico rico em sílica, que quando aplicado na elaboração das argamassas pode melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, além de contribuir com a durabilidade da argamassa. Objetivou-se com esse estudo avaliar a viabilidade da utilização da casca de arroz vermelho na obtenção de cinza pozolânica e o seu desempenho quando adicionadas na argamassa, em substituição parcial ao cimento Portland. As cascas foram calcinadas em três temperaturas (500, 600 e 700°C) e períodos de tempo (2, 4 e 6 horas); após a calcinação as cinzas obtidas foram caracterizadas através da tonalidade, rendimento, índice de atividade pozolânica, termogravimetria (TGA) e térmica diferencial (DTA). A influência da pozolanidade das cinzas na resistência mecânica das argamassas foi determinada através da comparação de corpos-de-prova, elaborados com e sem substituição parcial de 10% de cimento Portland por cinzas. Com os dados encontrados observou-se que a queima controlada a temperatura de 600°C por 4 horas apresentou as melhores características de pozolanidade estudadas e a argamassa com a incorporação de 10% de cinza da casca de arroz vermelho apresentou resistência à compressão superior à argamassa sem substituição.

Palavras chave: Oryza, resíduo, calcinação, pozolanidade.

CHARACTERIZATION OF RED RICE SHELL ASH FOR APPLICATION AS POZZOLANIC MATERIAL

ABSTRACT: The main problem in rice production is centered on the amount of residue generated in this activity, about 20% corresponds to bark, which is most often discarded inappropriately. The ash from the controlled burning of the rice husk can provide a pozzolanic material rich in silica, which when applied in the preparation of the mortars can improve its physical and mechanical properties, besides contributing to the durability. The objective of this study was to evaluate the viability of the use of red rice hulls in obtaining pozzolanic ash and their performance when added to the mortar, in partial replacement with Portland cement. The peels were calcined at three temperatures (500, 600 and 700 ° C) and time periods (2, 4 and 6 hours); After calcination the ashes obtained were characterized by tonality, yield, pozzolanic activity index, thermogravimetry (TGA) and differential thermal (DTA). The influence of the ash pozzolanicity on the mechanical strength of the mortars was determined by comparing specimens made with and without partial replacement of 10% Portland cement by ash. With the data found, it was observed that the controlled burning at 600 ° C for 4 hours

showed the best characteristics of pozzolanicity studied and the mortar with the incorporation of 10% of red rice hull ash showed superior compressive strength to the mortar without replacement.

Keywords: *Oryza*, residue, cinder, pozzolanicity.

1 INTRODUÇÃO

O arroz vermelho, ou arroz da terra, é uma forma espontânea de *Oryza sativa* L. que apresenta porte alto, folhas verde-claras, decumbentes e pilosas, colmos finos, alta capacidade de perfilhamento e sementes com pericarpo avermelhado, aristas longas, alta taxa de dormência e debulha natural (FONSECA et al., 2007). O estado da Paraíba é o maior produtor de arroz vermelho do Brasil, também conhecido como “arroz da terra”, sendo sua produção concentrada nas regiões do Vale do Piancó e Vale do Rio do Peixe (PEREIRA, 2004). O arroz é chamado de vermelho devido ao acúmulo de taninos ou antocianinas na região do pericarpo (a camada superficial do grão situada logo abaixo da casca), a qual pode variar na tonalidade. (AGOSTINETO et al., 2001)

Um dos principais problemas na produção do arroz está centrado na quantidade de resíduo gerado nessa atividade. Segundo Della; Kühn; Hotza (2005), para cada tonelada de arroz em casca produzido 23% correspondem a casca e 4% correspondem a cinza. A casca de arroz apresenta uma lenta decomposição na natureza, estimada em cinco anos, e ocorre o mesmo com a cinza que é resultante de sua queima, e ainda, quando depositada de forma inadequada e acumulada pode gerar uma decomposição anaeróbica que produzirá gases poluentes como o metano e o óxido nitroso, danosos à camada de ozônio (RODRIGUES, 2008; ZUCCO, 2007). Ao ser processada, apenas parte da casca do arroz é reaproveitada na indústria em processos como a parboilização e fornecimento de energia através de sua queima. (PEREIRA, 2004).

As cinzas minerais apresentam altas porcentagens de sílica e de outros óxidos, podendo ser então utilizadas como pozolanas oriundas de diferentes atividades agroindustriais (PAULA et al., 2009). Segundo Tiboni (2007), a sílica resultante da queima das cascas de arroz pode ser utilizada como

material componente do concreto seja por substituição parcial ou adição ao cimento. Dessa forma, a cinza mostra-se como matéria-prima alternativa contribuinte para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte incorreto da casca de arroz, bem como, na diminuição do consumo de reservas naturais não renováveis pela indústria do cimento. Além da aplicação como material pozzolânico quando estruturalmente amorfas e reativas, as cinzas podem ser empregadas como carga mineral, quando estruturalmente cristalinas e inertes, na elaboração de argamassa e concreto.

A utilização das cinzas em substituição ao cimento Portland confere melhorias nas reações de hidratação do clínquer, com a fixação da cal liberada, através da formação de monossilicatos cálcicos de composição semelhante aos da hidratação dos cristais de clínquer, conferindo às argamassas características como maior resistência mecânica, menor calor de hidratação, maior resistência ao ataque ácido, inibição da expansão devido à reação álcali-agregado, maior impermeabilidade, maior módulo de elasticidade, melhor comportamento em cura térmica e menor basicidade total, como reflexo do consumo do hidróxido de cálcio (ZUCCO, 2007).

Diante do exposto, o trabalho objetivou a caracterização das cinzas da casca de arroz vermelho, obtidas em diferentes temperaturas e períodos de calcinação, através das análises de suas propriedades físicas, mineralógicas e mecânicas.

2 MATERIAL E METODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias, Campus II da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), localizado no município de Areia - PB, em parceria com o Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) e de Química de Biomassa (LQB), ambos pertencentes à

Universidade Federal de Campina Grande, no município de Campina Grande (PB).

As cascas de arroz vermelho (CAV) utilizadas foram fornecidas por uma beneficiadora localizada na cidade de Pedra Branca (PB). As cascas foram calcinadas em forno tipo mufla sob temperaturas de 500, 600 e 700°C, e em períodos de aquecimento de 2, 4 e 6h, no intuito produzir diferentes graus de desarranjo cristalino na estrutura mineralógica das cinzas. Os ciclos de calcinação foram lentos, com taxa de aquecimento de cerca de 5°C.min⁻¹, e ao atingir a temperatura desejada o material permanecia sob aquecimento até o final do período de tratamento.

A análise do comportamento térmico da CAV sob calcinação foi realizada através das curvas termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA). O ensaio foi realizado no equipamento SHIMADZU, modelo DTG – 60H, com uma razão de aquecimento de 12,5°C min⁻¹, entre as temperaturas ambiente e 1000°C, em atmosfera de nitrogênio e vazão de 100 mL min⁻¹. A amostra com 5.078g foi acondicionada em cadinho de alumina.

O rendimento médio das cinzas foi determinado pela diferença percentual entre a quantidade de cascas a calcinar e as cinzas residuais obtidas após a calcinação, com amostras em triplicata, utilizando-se uma balança semi-analítica. Para a caracterização mineralógica e resistência mecânica as cinzas foram moídas e passadas pela malha da peneira de nº 200 (75µm), com granulometria semelhante à do cimento Portland. A influência dos tratamentos de calcinação no arranjo mineralógico das cinzas foi determinada pelas difratometrias de raios-x, utilizando-se um equipamento da marca SHIMADZU, modelo XRD-6000, com radiação de CuK α , entre ângulos de 10° ≤ 2θ ≤ 60°, com velocidade de varredura de 2° min⁻¹, sob tensão de 40kv e corrente de 30mA.

O índice de desempenho pozolânico das cinzas foi avaliado com base nas recomendações da NBR 5752 (ABNT, 2014a), onde os corpos-de-prova de argamassas, com e sem substituição do cimento Portland, são ensaiadas aos 28 dias após a moldagem. Ao final, para ser considerado um material pozolânico, deverá apresentar resistência à

compressão igual ou superior a 75 %, segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014b). O índice de atividade pozolânica foi aplicado aos tratamentos com melhores resultados para as difratometrias de raios-x. Os valores de resistência à compressão foram obtidos a partir da Equação 1:

$$I_{(\text{cimento})} = (f_{cB}/f_{cA}) \times 100 \quad (1)$$

Em que: I é o índice de desempenho aos 28 dias (%); f_{cB} é a resistência média da argamassa com a mistura cimento Portland e cinzas (MPa); f_{cA} é a resistência média da argamassa com cimento Portland (MPa).

Na preparação das argamassas testemunha e tratamento para o ensaio mecânico (traço 1:3) a areia foi passada pela na peneira nº 14, com malha 1,4mm, correspondente às frações menores da areia média (1,2 a 2,4mm). Na elaboração da argamassa tratamento substituiu-se 10%, em peso, do cimento Portland (CP) por cinza de casca de arroz vermelho (CCAV). O fator água cimento adotado foi de 0.55. O CP II F – 32 foi o do tipo utilizado por apresentar menor interferência na pozolanidade das cinzas, juntamente a CCAV do melhor resultado da análise de desempenho pozolânico.

As argamassas foram ensaiadas seguindo as determinações da NBR 5739 (ABNT, 2007) para a resistência à compressão simples e NBR 7222 (ABNT, 1994) para a resistência à compressão diametral, através de corpos-de-prova cilíndricos submetidos a cura por imersão durante 28 dias. Após o período de cura, os corpos-de prova foram rompidos em uma prensa hidráulica marca CONTENCO, modelo Pavitest, com capacidade de até 24000kgf.

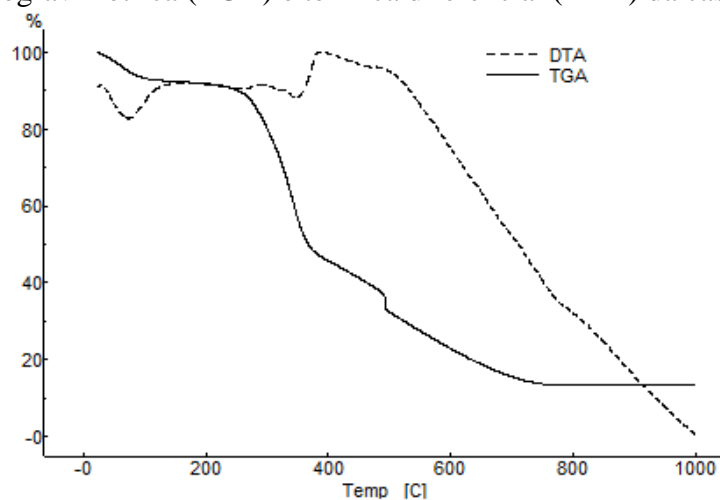
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas imagens, termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) podem ser observadas quatro etapas na degradação da casca (Figura 1). A primeira etapa apresentou uma perda de massa de 7,8%, entre 24 e 92°C, que pode ser atribuída à evaporação da água da amostra e, segundo Marconcini e Oliveira

(2007), essa perda também pode ser equivalente à saída de compostos voláteis. Entre 299 e 360°C a calcinação gerou perdas da ordem de 43,9% da massa da amostra, que podem estar relacionadas à degradação parcial dos compostos orgânicos como celuloses e ligninas. Na terceira etapa, entre 490 e 493, foi observada uma alteração no comportamento da curva, com perda de massa de 14,3%; e esse comportamento pode estar relacionado à

mudança de fase do material, devido à combustão do carbono (POUEY, 2006). Na última etapa analisada, entre 521 e 678°C, houve perda de massa de 19,1%. Segundo Gouveia et al. (2002), após a decomposição das cascas do arroz comum e do parabolizado, em temperaturas acima de 523 e 535°C respectivamente, resta 16,0% de resíduo, que, segundo a literatura, corresponde a sílica.

Figura 1. Curvas termogravimétrica (TGA) e térmica diferencial (DTA) da casca de arroz vermelho

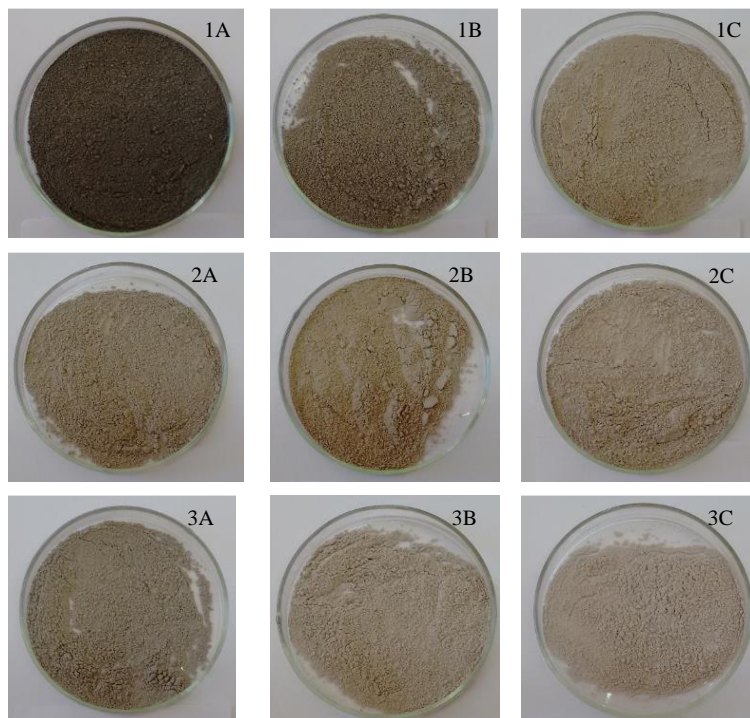


As diferentes colorações obtidas durante o processo de calcinação da casca do arroz vermelho, podem ser utilizadas como parâmetro no diagnóstico da quantidade de carbono presente nas amostras. Segundo Houston (1972), citado por Della; Kühn; Hotza (2002), as cinzas de coloração preta possuem alto conteúdo de carbono, e o contrário ocorre nas de coloração acinzentada. Numa escala de tonalidades para a cor cinza foram obtidas amostras desde o grafite até o cinza claro, e ainda, podemos afirmar que dentre as variáveis avaliadas, o aumento do tempo apresentou-se mais expressivo quanto às variações de tonalidade, entre os períodos de calcinação na temperatura de 500°C. Em contrapartida, as tonalidades das amostras obtidas sob o mesmo tempo de calcinação para as temperaturas de 600 e 700°C apresentaram diferenças, o que

representa uma significativa redução do conteúdo de carbono presente nas cinzas a medida que a temperatura foi elevada (Figura 2).

Ao analisar a viabilidade de obtenção de sílica de alta pureza a partir de cinza de casca de arroz, Della; Kühn; Hotza (2001), observaram que as amostras desenvolveram modificações progressivas na coloração influenciada pelas diferentes temperaturas e tempos de queima, e que a coloração cinzenta é fortemente dependente da temperatura. E ainda, cinzas de coloração preta são obtidas a baixas temperaturas, cerca de 400°C, provavelmente por não haver tempo de queima suficiente para redução do carbono, e que quando calcinadas a 700°C é produzida sílica com coloração cinza claro.

Figura 2. Coloração das cinzas de casca de arroz vermelho obtidas para os tratamentos propostos, sendo: temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C, e tempos de queima A por 2h, B por 4h e C por 6h.

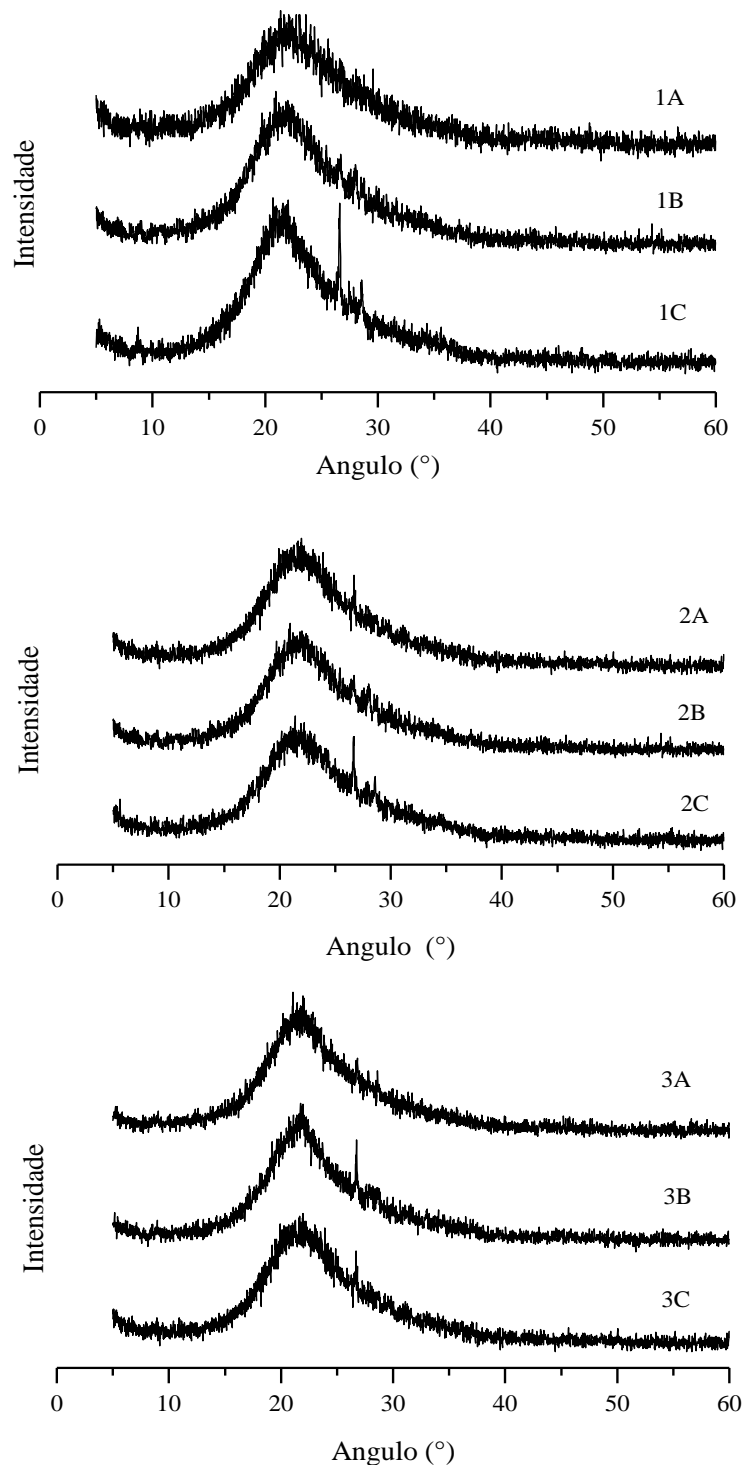


Quanto ao rendimento das cinzas, observou-se que para os tratamentos propostos foi de cerca de 20%, e esse resultado evidencia que não houve muita diferença entre as perdas dos compostos presentes entre os níveis dos fatores estudados, com valor máximo de 22% (500°C por 2h) e mínimo de 19,8% (700°C por 6h). Ao determinar o rendimento das cinzas, através da calcinação, Diniz (2005) obteve valores entre 17 e 20% com relação ao peso da casca.

As características de amorfismo observadas através das difratometrias de raios-X podem ser utilizadas como parâmetro para mensurar o quantitativo de elementos reativos, presente nas cinzas. Observou-se que os

espectros apresentaram características predominantes de amorfismo, dada a largura e intensidade do pico registrado entre 15 e 35° (2 θ). As cinzas obtidas da calcinação a 500°C por 2h e 4h (1A e 1B) apresentaram espectros com características semelhantes, com picos evidenciando a presença de quartzo nas amostras. Picos e interferências de baixa intensidade foram observados nas calcinações a 600 e 700°C (tratamentos 2 e 3) e podem estar relacionados à formação de cristobalitas e feldspatos. No geral, os tratamentos apresentaram espectros similares, variando apenas na maior intensidade dos picos relativo à presença de quartzo (27° 2 θ).

Figura 3. Difratométrias das cinzas da casca do arroz vermelho, sendo as temperaturas 1 à 500°C, 2 à 600°C e 3 à 700°C e os períodos de calcinação A por 2h, B por 4h e C por 6h.



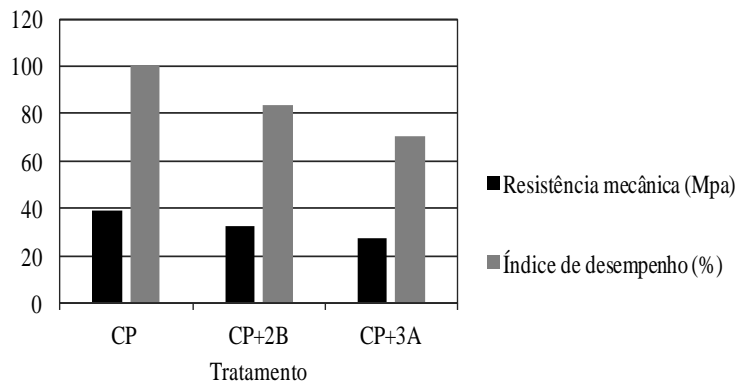
Ao analisar o potencial pozolânico das cinzas da casca de arroz, Cordeiro; Masuero; Dal Molin (2014), observaram que as pozolanas produzidas entre 500 e 1100°C continham materiais cristalinos e traços de quartzo em todas as amostras e, ainda, quanto ao indicativo de compostos amorfos, verificou-se que o largo pico entre 15° e 36° (2 θ) no espectro das cinzas

produzidas a 500°C foi diminuindo à medida que a temperatura aumentou, demonstrando o rearranjo dos compostos cristalinos. A partir do espectro das cinzas produzidas a 800°C verificou-se claramente a transformação das fases, observando-se a redução do halo amorfo e a formação do pico de cristobalita, que se tornou mais definido à medida que a

temperatura aumentou. A quantidade de sílica reativa diminui, à medida em que se aumenta a temperatura de queima. Mesmo assim, há a presença sílica amorfa, em altas temperaturas, suficiente para garantir a reação pozolânica (CORDEIRO; MASUERO; DAL MOLIN, 2014). As cinzas calcinadas a 600°C por 4h (2B) e 700°C por 2h (3A) apresentaram espectros sem muitas interferências, característico de cinzas reativas e sem presença de minerais cristalizados. Dessa forma, esses tratamentos foram utilizados na determinação do desempenho de materiais pozolânicos.

As resistências à compressão das argamassas com e sem a substituição por cinzas, produzidas segundo a NBR 5752 (ABNT, 2014a), estão esboçadas na Figura 7. Dentre as argamassas avaliadas, apenas aquela com cinzas calcinadas a 600°C por 4h (2B) apresentou índice de desempenho característico ao material pozolânico, quando em substituição ao cimento Portland. O índice de desempenho observado no tratamento CP+2B apresentou 84% do que foi obtido para a argamassa testemunha (CP).

Figura 4. Desempenho mecânico dos corpos-de-prova das argamassas de CP (cimento Portland), CP+2B (com cinzas calcinadas a 600°C por 4h) e CP+3A (com cinzas calcinadas a 700°C por 2h).



Ao analisar a atividade pozolânica da sílica da casca de arroz, Marangon et al. (2013), observaram que a resistência à compressão das argamassas de referência foi superior a classe de resistência do cimento Portland utilizado, e que quando realizado os ensaios de IAP com a substituição parcial do cimento pela sílica de casca de arroz, não houve variação na resistência à compressão das amostras, o que demonstrou uma alta capacidade de atividade pozolânica da sílica da casca de arroz.

Para os ensaios de resistência à compressão simples a argamassa tratamento foi formulada com cinzas calcinadas a 600°C por 4h, por configurar-se como o melhor resultado no desempenho pozolânico. A argamassa com substituição de 10% de CP por CCAV apresentou resistência à compressão axial de 19,9MPa, cerca de 25% superior a argamassa testemunha com 14,9MPa. Esse fato pode ser explicado pela redução da porosidade da argamassa devido à menor granulometria das

cinzas após a moagem, o que colaborou para o incremento da resistência a compressão.

Segundo Feng et al. (2003) a CCA obtida através de queima controlada e adequadamente moída possui alta atividade pozolânica e proporciona um aumento da resistência à compressão de concretos com substituição de cimento por CCA. De acordo com Rêgo (2002), citado por Righi (2015), ao desenvolver um estudo com CCA residual, avaliando a resistência a compressão do concreto nos teores de 0, 5, 10, 20% em substituição ao cimento, observou um aumento dos valores de resistência à compressão para todos os teores de substituição, em comparação ao concreto de referência, chegando a apresentar valores até aproximadamente 20% para o caso de 10% de substituição, aos 63 dias. Frizzo (2001), verificou que misturas com cinza de casca de arroz apresentaram aumento da resistência à compressão axial. Para Tiboni (2007), o aumento na resistência a compressão

simples de argamassas pode estar relacionado a uma melhoria na zona de transição, pois as utilizações de sílicas ativas diminuem a quantidade de cristais decorrentes do cálcio, dos espaços vazios e do aumento da adesividade pasta-agregado.

4 CONCLUSÕES

As cinzas produzidas a partir da queima controlada a temperatura de 600° C por 4 horas apresentou as melhores características de pozolanicidade entre as cinzas obtidas. Quando incorporadas à argamassa, promoveu a melhoria na resistência mecânica a compressão em comparação à argamassa testemunha.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752** – Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com o cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7222** - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014b.

AGOSTINETO, D.; FLECK, M. A.; RIZZARDI, M. A.; MEROTTO JÚNIOR, A.; VIDAL, R. A. Arroz vermelho: Ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 341-349, 2001.

CORDEIRO, L. N. P.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 150-158, 2014.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Revista Química Nova**, v.24, n. 5, p. 778-782, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. **Materials Letters**, Amsterdam, v. 57, n. 4, p. 818-821, 2002.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura**: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. 2005. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FENG, Q.; YAMAMICHI, H.; SHOYA, M.; SUGITA S. Efficiency of highly active rice husk ash on the high-strength concrete. *In*: INTERNATIONAL CONGRESSO ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 11., 2003, Durban. **Anais** [...] Durban: FAO, 2003. p. 816-822.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P.; SOARES, A. A.; PEREIRA, J. A.; LOBO, V. L. S.; RESENDE, J. M. **Descrição morfológica, agronômica, fenológica e culinária de alguns**

tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007. (Documentos, 210).

FRIZZO, B. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade de oxigênio e na absorção capilar do concreto.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2001.

GOUVEIA, D. S.; AMORIM, J. A.; ELIZIÁRIO, S. A.; ROSENHAIM, R.; DANTAS, R. F.; TRINDADE, M. F. S.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. Caracterização da casca de arroz beneficiada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 2002, Natal. **Anais [...]** Natal: UFRN, 2002. p. 114-119.

MARANGON, E; MARTON, L. F. M.; SOARES, E. L.; MENDES, G. G.; MARTINS, R. P.; SILVA, D. M. G. Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013. **Anais [...]** Gramado: Ibracon, 2013. p. 1-10.

MARCONCINI, J.; OLIVEIRA, R. M. **Termogravimetria de Cascas de Arroz.** São Carlos: EMBRAPA/CNPDI, 2007. (Comunicado Técnico, 89).

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.

PEREIRA, J. A. **O arroz-vermelho cultivado no Brasil.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RIGHI, D. P. **Caracterização do Comportamento de Compostos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação com a Utilização de Fibras de Polipropileno e Cinza de Casca de Arroz.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, M. S. **Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

TIBONI, R. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compostos a base de cimento Portland.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ZUCCO, L. L. **Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.