



REVISÃO SISTEMATIZADA SOBRE A CINZA DA CASCA DO ARROZ EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

Alda S. Capelo¹, Douglas S. Lira¹, Juan C. A. Molano¹, Camila C. A. Sposito¹, Juan C. A. Molano¹, Daniela O. de Lima¹, João A. Rossignolo²

1 – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, SP.

2 – Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, SP.

alda.capelo@usp.br

A gestão de resíduos sólidos tem se destacado por permitir a circularidade de diversos resíduos dos diferentes setores da indústria. No Brasil diversas normas, leis e políticas públicas estabelecem os critérios de classificação e destinação dos resíduos sólidos (RS), entre estas, destaca-se a norma NBR 10004/04 da ABNT que classifica os RS conforme o grau de periculosidade para o meio ambiente e sociedade. A cinza da casca do arroz (CCA) é um resíduo sólido agroindustrial, descrito segundo a resolução CONAMA nº 313/02 no código de resíduo A699. A CCA classifica-se como um subproduto de caráter pozolânico pelo seu teor de amorficidade. Em condições específicas de incineração pode conter até 96% de teor de óxido de silício (SiO_2). As pozolanas agroindustriais, assumem um papel fundamental para a circularidade dos resíduos no setor cimentício, pois a sua utilização se refletirá na redução do consumo do cimento Portland. Outra viabilidade da utilização das pozolanas agroindustriais está relacionada a redução da alcalinidade da matriz cimentícia. O que favorece o uso em maior escala das fibras vegetais, que oferecem inúmeras vantagens como material de reforço. O objetivo do presente trabalho é identificar resultados já publicados, sobre o uso da CCA no setor cimentício e corroborar para o incentivo de novas pesquisas que visam o desenvolvimento de materiais construtivos ambientalmente amigáveis. Realizou-se uma revisão sistematizada da utilização da CCA em matrizes cimentícias, com o uso do software VOSviewer, e de pesquisas científicas encontradas na base de dados da principal coleção do Web of Science: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), disponível desde 1900 até a presente data. Por meio da composição de um mapa de palavras-chave e completa discussão sobre o tema, se constatou ampla aplicação da CCA, como substituta parcial do cimento Portland, no entanto, averiguou-se um número escasso de publicações que envolvem a aplicação de CCA em cimentos à base de óxido de magnésio. A CCA passa a ser forte aliada para o desenvolvimento sustentável e atua para o alcance da meta estabelecida de zero líquido de carbono até 2050.

Palavras-chave: Reatividade. Pozolana. Resíduos sólidos. Sílica.

INTRODUÇÃO

A edificação dos grandes centros urbanos, na sua maioria com o cimento Portland (CP) como material essencial, desencadeou elevadas emissões de dióxido de carbono (CO_2), particularmente preocupante devido ao efeito estufa desse gás, e alto consumo de energia^(1,2);

esses aspectos associados a outros culminaram na poluição do meio ambiente. O CP como material aglomerante, responsável por compor as pastas, argamassas e concretos, é o material de construção mais consumido a nível mundial⁽³⁾. Sua cadeia de produção consome grande parte da energia para os feitos industriais e é uma das contribuintes maioritárias das emissões antropogênicas de CO₂, gera cerca de 5 a 10% do total emitido⁽²⁻⁷⁾.

Frente as contrariedades ambientais em torno do renomado material, o setor cimentício busca modificar os seus processos e produtos por meio da incorporação de materiais suplementares, como é o caso dos subprodutos agroindústrias, que quando devidamente processados possuem características pozolânicas e podem ser utilizados como substitutos parciais do CP^(2,7-9). A incorporação desses produtos como materiais suplementares, possibilita reduzir o consumo do cimento Portland e assim diminuir os negativos impactos ambientais do setor⁽³⁾.

Um exemplo dessas aplicações são as cinzas da casca do arroz, da folha de bambu e do bagaço de cana-de-açúcar⁽⁹⁻¹¹⁾. Os estudos e aplicações dos subprodutos agroindustriais se mostram promissores para uma indústria cimentícia inovadora e ecologicamente correta. A inclusão da cinza da casca do arroz (CCA), como substituição parcial do cimento Portland é pioneira comparada as demais associações⁽²⁾. Comprovada que essa prática agrega benefícios ambientais em duas principais vertentes: redução na emissão do CO₂ originadas pela calcinação do clínquer, e redução do consumo de energia que envolve toda a cadeia de produção do CP^(1,3). Portanto para que seja uma adição ou substituição viável, é necessário que a produção da cinza, seja controlada, por meio de critérios e práticas estabelecidas; alguns fatores que devem ser levados em consideração são: temperatura e tempo de queima das cascas, e grau de finura após o processo de moagem. Esses parâmetros são imprescindíveis para a utilização da CCA, como material pozolânico.

Outra vertente diz respeito à transformação de resíduos agroindustriais, gerados em larga escala, de difícil descarte e aproveitamento, para um subproduto industrial; o que agrega maior valor ao produto final, minimizando deste modo os impactos não apenas da indústria construtiva, mas também da agricultura.

A CCA é um subproduto derivado da combustão da casca do arroz, após o processo de combustão da casca é formado uma cinza com alto teor de sílica amorfa, ideal para utilização como material pozolânico⁽¹²⁾. Em combinação com o cimento Portland auxilia na formação do gel de silicato de cálcio hidratado (C-H-S), o que a torna adequada para uso como material suplementar para compor as pastas, argamassas e concreto⁽¹³⁾. Além do auxílio na formação do gel C-S-H, é ideal para reduzir a alcalinidade da matriz quando necessário, em aplicações específicas, como melhorar a durabilidade de fibras celulósicas em fibrocimentos. De igual modo é benéfica para compor os sistemas M-S-H (silicato de magnésio hidratado), aglutinante derivado dos cimentos à base de óxido de magnésio em combinação com sílica ativa^(14,15). Estes que estão no limiar do seu desenvolvimento e que de igual modo trazem benefícios técnicos e ambientais⁽¹⁴⁾.

Assim a casca do arroz é uma fonte alternativa para a produção de sílica reativa, que agrega vantagens técnicas, econômicas e ambientais, tanto para a indústria construtiva quanto para a agricultura. Portanto, o objetivo da presente revisão sistematizada é identificar resultados já publicados, sobre o uso da CCA no setor cimentício e corroborar para o incentivo de novas pesquisas que visam o desenvolvimento de materiais construtivos com menor impacto ambiental negativo.

MÉTODOS

Parte da metodologia da presente revisão foi baseada em trabalhos que traçaram as características de sustentabilidade de diferentes aplicações das cinzas da casca do arroz com uso de uma estrutura de “triple bottom line”⁽¹⁶⁾. Avaliariam ainda o potencial de redução das

emissões de gases de efeito estufa. De maneira generalizada a utilização bem sucedida da cinza da casca do arroz como material cimentício complementar e as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido⁽¹⁷⁾.

Pesquisa literária

Se identificou os pontos limitantes do estudo e como se procedeu o refinamento das pesquisas encontradas, com isso se definiu a palavra-chave: *Rice husk ash (RHA)*. A mesma permitiu delimitar os resultados. Para a busca de pesquisas científicas se utilizou a base de dados da coleção principal do *Web of Science: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)*, disponível desde 1900 até o presente, e utilizou-se também o software *VOSviewer*.

Técnica de triagem

Com a utilização das palavras chaves na base de dados, foram encontrados um total de 17762 publicações, desde 1999 a 2022, com diversificação das áreas de estudo. Portanto, para que fosse possível delimitar melhor a busca, associada à primeira palavra-chave se utilizou ainda as palavras chaves: *supplementary materials, Portland cement, environmental friendly, sustainability* e optou-se por definir o período de 7 anos até a presente data.

Escolha da bibliografia

Inicialmente foram lidos todos os resumos das referências acessadas na técnica de triagem, para avaliar se eram referentes à utilização da cinza da casca do arroz em matrizes cimentícias. Posteriormente, se realizou a leitura dos textos relevantes, e as referências utilizadas foram as que se encaixavam na técnica de triagem. Finalmente, foram selecionadas 10 referências dos últimos 7 anos, para a revisão da utilização da cinza da casca do arroz em matrizes cimentícias.

RESULTADOS

Na sequência os 10 artigos selecionados os quais trazem a abordagem da cinza da casca do arroz em matrizes cimentícias.

- Vieira et al. (2020) avaliaram a evolução da resistência à compressão do concreto de alta resistência com a incorporação da cinza da casca do arroz, em função do tamanho de partículas da CCA, estrutura porosa e teor de substituição. A estrutura porosa resultou em uma CCA com alta área superficial específica e isso melhorou diretamente a cinética de hidratação pela nucleação heterogênea. A resistência à compressão foi influenciada pela porosidade da CCA até 91 dias.

- Unluer (2019) investigou o uso da CCA como fonte de sílica para formar silicato de magnésio hidratado (M-S-H) em amostras de MgO-SiO₂. A CCA amorfa possui potencial para ser utilizada como fonte de sílica em formulações de MgO-SiO₂. As amostras com sílica amorfa atingiram pontos fortes e promissores atribuídos ao desenvolvimento de uma microestrutura densa. A CCA pode efetivamente substituir à microssílica em formulações de cimento M-S-H.

- Saad et al. (2016) investigaram o efeito da temperatura de queima nas características da cinza da casca do arroz pré-tratada. A correta temperatura de queima desempenha um papel importante para melhorar as propriedades químicas, físicas e morfológicas do concreto e assim produzir produtos de alta qualidade. Quanto à composição mineralógica, o maior grau do teor de SiO₂ é alcançado na temperatura de 700°C.

- Wei e Meyer (2016) exploraram uma abordagem para melhorar a durabilidade da fibra de sisal em compósitos cimentícios usando subprodutos da usina de biomassa: cinza da casca do

arroz. A substituição parcial do cimento por CCA não apenas melhora a resistência à flexão inicial dos compósitos de cimento reforçados com fibras de sisal, mas também a durabilidade quando expostos aos ciclos de imersão e secagem, e promove um menor grau de degradação das fibras. A CCA em matriz cimentícia atua como um material suplementar ativo, porém promove também o efeito de preenchimento. A alta atividade pozzolânica da CCA é atribuída ao seu teor de silicato, que é comparável à sílica ativa e grande área superficial específica dada pela sua estrutura.

- Venkatanarayanan e Rangaraju. (2015) avaliaram a eficácia da cinza da CCA não moída como pozolana e o efeito da moagem da mesma em frações mais finas para uso em cimento Portland. Concluíram que a adição da CCA não moída em misturas de cimento Portland, aumentou a consistência, e o tempo de pega inicial e final, bem como as resistências mecânicas (compressão, tração e flexão). A moagem da CCA em frações mais finas melhorou todas as propriedades das misturas, exceto o tempo de pega final.

- Rego et al. (2015), caracterizaram diferentes variedades de CCA residuais produzidas no Brasil e investigaram a microestrutura de pastas cimentícias com 20% de substituição de cimento comum por CCA com alto e baixo teor de sílica amorfa. As CCA produzidas nas indústrias de processamento de arroz no Brasil, apresentam baixas variações na composição química, porém grandes variações na superfície específica BET. Possuem teor de sílica entre 80% e 90% e em alguns casos com quantidades significativas de sílica cristalina. Pastas com 20% de CCA tanto com alto (>80%) e baixo (<20%) teor de sílica amorfa apresentam elevado consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, devido à reação pozzolânica. A substituição do cimento Portland por CCA leva a um refinamento da estrutura porosa das pastas, o que influencia de maneira positiva a resistência mecânica e a durabilidade.

CONCLUSÃO

Após a percorrida revisão bibliográfica, conclui-se que a CCA como subproduto agroindustrial é forte aliada para o desenvolvimento sustentável no setor cimentício e atuar para o alcance da Meta estabelecida de “emissões zero líquido de carbono até 2050”, do gel M-S-H em sistemas à base de MgO e melhorar a durabilidade das fibras celulósicas através da redução da alcalinidade em matrizes cimentícias. Alguns aspectos como: clima, solo, método de cultivo do arroz, processo e temperatura de queima da casca, grau de finura da cinza produzida, são relevantes pois, estão diretamente relacionados a maior ou menor quantidade de SiO_2 , assim como a reatividade do material.

REFERÊNCIAS

1. MILLER, S.; et al. Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement and concrete research*, v. 114, p. 115-124, 2018.
2. ROSELLÓ, J.; et al. Rice straw ash: A potential pozzolanic supplementary material for cementing systems. *Industrial Crops and Products*, v. 103, p. 39-50, 2017.
3. DEWALD, U.; ACHTERNBOSCH, M. Why more sustainable cements failed so far? Disruptive innovations and their barriers in a basic industry. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 19, p. 15-30, 2016.
4. GURSEL, A. P.; MARYMAN, H.; OSTERTAG, C. A life-cycle approach to environmental, mechanical, and durability properties of “green” concrete mixes with rice husk ash. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 823-836, 2016.
5. WANG, D.; NOGUCHI, T.; NOZAKI, T. Increasing efficiency of carbon dioxide sequestration through high temperature carbonation of cement-based materials. *Journal of Cleaner Production*, v. 238, p. 117980, 2019.
6. MORAES, J. C. B.; et al. Assessment of sugar cane straw ash (SCSA) as pozzolanic material in

- blended Portland cement: Microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars. *Construction and Building Materials*, v. 94, p. 670-677, 2015.
7. QIN, L.; GAO, X.; CHEN, T. Recycling of raw rice husk to manufacture magnesium oxysulfate cement based lightweight building materials. *Journal of Cleaner Production*, v. 191, p. 220-232, 2018..
 8. YAN, L.; KASAL, B.; HUANG, L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering*, v. 92, p. 94-132, 2016.
 9. BAHURUDEEN, A.; SANTHANAM, Manu. Influence of different processing methods on the pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash. *Cement and Concrete Composites*, v. 56, p. 32-45, 2015.
 10. HUANG, H.; et al. Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, v. 149, p. 621-628, 2017.
 11. VILLAR-COCIÑA, E. et al. A comparative study on the pozzolanic activity between bamboo leaves ash and silica fume: Kinetic parameters. *Waste and Biomass Valorization*, v. 11, n. 4, p. 1627-1634, 2020.
 12. MAYOORAN, S.; RAGAVAN, S.; SATHIPARAN, N. Comparative study on open air burnt low-and high-carbon rice husk ash as partial cement replacement in cement block production. *Journal of Building Engineering*, v. 13, p. 137-145, 2017.
 13. SONAT, C.; UNLUER, C. Development of magnesium-silicate-hydrate (MSH) cement with rice husk ash. *Journal of Cleaner Production*, v. 211, p. 787-803, 2019.
 14. SONAT, C.; UNLUER, C. Investigation of the performance and thermal decomposition of MgO and MgO-SiO₂ formulations. *Thermochimica Acta*, v. 655, p. 251-261, 2017.
 15. ABDEL-GAWWAD, H. A.; et al. Combined impact of silicate-amorphicity and MgO-reactivity on the performance of Mg-silicate cement. *Construction and Building Materials*, v. 189, p. 78-85, 2018.
 16. PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. Sustainable utilization of rice husk ash from power plants: A review. *Journal of cleaner production*, v. 167, p. 1020-1028, 2017.
 17. THOMAS, B. S. Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material—A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 3913-3923, 2018.

SYSTEMATIZED REVIEW ON ASH OF RICE HULL IN CEMENT MATRICES

ABSTRACT

Solid waste management has stood out for allowing the circularity of various wastes from different sectors of industry. In Brazil several norms, laws and public policies establish the criteria for classification and disposal of solid waste (SW), among these, stands out the ABNT standard NBR 10004/04 that classifies the SR according to the degree of hazardousness to the environment and society. The rice husk ash (RHA) is a solid agro-industrial waste, described according to CONAMA resolution 313/02 in waste code A699. The RHA is classified as a by-product of pozzolanic character by its amorphous content. Under specific incineration conditions it can contain up to 96% silicon oxide (SiO₂). Agro-industrial pozzolans play a fundamental role in the circularity of waste in the cement sector, because their use will be reflected in the reduction of Portland cement consumption. Another viability of the use of agroindustrial pozzolans is related to the reduction of the alkalinity of the cement matrix. This favors the use of vegetable fibers, which offer numerous advantages as a reinforcement material. The objective of the present work is to identify results already published on the use of RHA in the cement sector and to corroborate for the incentive of new researches that aim at the development of environmentally friendly construction materials. A systematic review of the

use of RHA in cementitious matrices was performed using the VOSviewer software and scientific research found in the database of the main Web of Science collection: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), available from 1900 to the present date. Through the composition of a keyword map and complete discussion on the subject, it was found a wide application of RHA, as a partial substitute for Portland cement, however, it was found a scarce number of publications involving the application of RHA in magnesium oxide based cements. The RHA becomes a strong ally for sustainable development and acts to achieve the goal of zero net carbon by 2050.

Keywords: *Reactivity. Pozzolana. Solid Waste. Silica.*