

Uma revisão sobre a utilização de cinza de casca de arroz na construção civil

A review on the use of rice husk ash in construction

Una revisión sobre el uso de cenizas de cascarilla de arroz en la construcción

Recebido: 15/02/2021 | Revisado: 21/02/2021 | Aceito: 28/02/2021 | Publicado: 07/03/2021

Alex Gomes Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3563-4161>
Centro Universitário São Lucas, Brasil
E-mail: alexgp885@gmail.com

Cristiano da Silva Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1276-0336>
Centro Universitário São Lucas, Brasil
E-mail: cristiano.vieira@saolucas.edu.br

Marcelo Batista de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-968X>
Universidade Federal de Rondônia, Brasil
E-mail: marcelo@unir.br

Júnior Cleber Alves Paiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6938-4351>
Faculdade de Ciências e de Tecnologia de Rondônia, Brasil
E-mail: juniorcleber.ro@gmail.com

Rafael Luis da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9485-479X>
Centro Universitário São Lucas, Brasil
E-mail: rafaeluismat@gmail.com

Avenilson Gomes da Trindade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5246-1648>
Superintendência Estadual de Desenvolvimento Econômico e Infraestrutura, Brasil
E-mail: avenilson@hotmail.com

Benício de Moraes Lacerda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4138-7099>
Faculdade de Educação e Cultura de Porto Velho, Brasil
E-mail: benicio_lacerda@hotmail.com

Resumo

Nos últimos anos, a ocorrência prematura da perda das características funcionais e estruturais das edificações, bem como consideráveis impactos ambientais devido ao processo produtivo do cimento levou ao desenvolvimento e adoção de materiais suplementares à composição do cimento Portland para aumentar a vida de serviço das estruturas e redução de impactos ambientais. Nesta temática, as pesquisas com o uso da cinza de casca de arroz (CCA) em argamassas e concretos (substituindo parcialmente o cimento Portland) vêm crescendo, gerando dessa forma grandes vantagens no campo técnico e ambiental. Diante disso, o presente trabalho apresenta um revisão sobre a utilização do resíduo agro-industrial de CCA na construção civil. A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma revisão bibliográfica sistemática a respeito do assunto, passando por uma abordagem geral, apresentando a origem, dados estatísticos, aplicações e características tecnológicas sobre o tema.

Palavras-chave: Cinza de casca de arroz; Construção civil; Resíduo.

Abstract

In recent years, the premature loss of the functional and structural characteristics of buildings, as well as considerable environmental impacts due to the cement production process, led to the development and adoption of supplementary materials to the Portland cement composition to increase the service life of structures and reduction of environmental impacts. In this theme, research on the use of rice husk ash (CCA) in mortars and concrete (partially replacing Portland cement) has been growing, thus generating great advantages in the technical and environmental field. In light of this, this paper presents a review of the use of CCA agro-industrial waste in civil construction. The research was developed from a systematic bibliographic review on the subject, passing through a general approach, presenting the origin, statistical data, applications and technological characteristics on the subject.

Keywords: Rice husk ash; Construction; Residue.

Resumen

En los últimos años, la pérdida prematura de las características funcionales y estructurales de los edificios, así como los considerables impactos ambientales debido al proceso de producción de cemento, llevaron al desarrollo y

adopción de materiales adicionales a la composición del cemento Portland para aumentar la vida útil de las estructuras, y reducción de impactos ambientales. En este tema, la investigación sobre el uso de cenizas de cascarilla de arroz (CCA) en morteros y hormigones (en sustitución parcial del cemento Portland) ha ido creciendo, generando así grandes ventajas en el ámbito técnico y medioambiental. A la luz de esto, este trabajo presenta una revisión del uso de residuos agroindustriales CCA en la construcción civil. La investigación se desarrolló a partir de una revisión bibliográfica sistemática sobre el tema, pasando por un enfoque general, presentando el origen, datos estadísticos, aplicaciones y características tecnológicas sobre el tema.

Palabras clave: Ceniza de cáscara de arroz; Construcción civil; Residuo.

1. Introdução

Recentemente, em muitos países, são empregados resíduos industriais como forma de agregar valor à execução, recuperação e manutenção de obras de concreto, já que estas representam técnicas sustentáveis e alternativas economicamente viáveis.

Neste contexto, objetivando a redução de custos e manutenção e, ainda, reduzir a exploração de materiais não renováveis usualmente empregados nesses sistemas construtivos, a literatura baila diferentes tipos de resíduos, provenientes de processos industriais, que têm sido usados na construção civil em substituição aos usuais materiais. Por exemplo, as cinzas de milho, resíduos de biomassa da cana de açúcar, resíduos de fosfogesso, resíduos de madeira, resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduo de vidro moído têm sido utilizados em concretos e argamassas para substituição parcial de cimento (Memon & Khan, 2018; Anjos et al., 2013; Chen, et al., 2018; Usman, et al., 2018; Trentin, et al., 2020), e recentemente, o emprego da cinza de casca de arroz (CCA).

A CCA é um sub-resíduo gerado pela queima da combustão da casca de arroz (CA) em usinas termelétricas. A inserção da CCA é uma técnica de alternativa que promove o desenvolvimento de reações pozolânicas. Foletto, et al. (2005) explicam que a utilização da CCA como fonte de sílica no cimento diminui o desempenho mecânico quanto à resistência à compressão, melhora a durabilidade do concreto e reduz a porosidade, o qual é bastante importante para muitas aplicações, por exemplo, canais de irrigação, concretos resistentes à poluição e às intempéries e pisos resistentes à abrasão.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre o emprego do CCA na construção civil.

2. Metodologia

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa se destaca como exploratória e descritiva, produzidos por meio de levantamentos de pesquisas bibliográficas, visto que na pesquisa exploratória, segundo Gil (2008) visa proporcionar maior familiaridade com o problema a ser pesquisado com vistas a torná-lo explícito ou a construir um maior número de hipóteses. Por sua vez a pesquisa descritiva, como o nome já diz, visa a descrição de características de um certo grupo ou fenômeno. Gerhardt e Silveira (2009) afirmam que este tipo de trabalho tem como objetivo descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade. Gil (2008) explica que as pesquisa descritivas juntamente com as exploratórias, tem sido bastante requisitada por organizações como empresas comerciais, como forma de levantamento, diante da preocupação dos pesquisadores com a atuação prática.

Após ter explorado o assunto, buscou-se fazer uma análise detalhada do objeto de estudo. A apresentação dos resultados obtidos pela pesquisa foi realizada de forma quali-quantitativa e comparativa. A abordagem quali-quantitativa se dá porque os resultados baseiam-se tanto em dados numéricos e quantificáveis, como também por meio de percepções, análises e descrições da complexidade do problema. Conforme preceitua Botelho e Cruz (2013) a pesquisa qualitativa se caracteriza por buscar entender um fenômeno específico de forma aprofundada, já que este tipo de pesquisa se desenvolve trabalhando com descrições, comparações, interpretações e atribuições de significados, possibilitando investigar valores, crenças, hábitos,

estudos e opiniões de indivíduos ou grupos. Quanto à pesquisa quantitativa, Botelho e Cruz (2013) ressaltam ser uma metodologia de pesquisa social que emprega técnicas estatísticas, ou seja, transformar opiniões e informações em números, por meio da quantificação, tabulação e interpretação dos dados.

A pesquisa é caracterizada, também, como comparativa, pois tem como objetivo descobrir regularidades, perceber deslocamentos e transformações, construir modelos e tipologias, identificando continuidades e discontinuidades, semelhanças e diferenças, e explicitando as determinações mais gerais que regem os fenômenos sociais (Schneider & Schmitt, 1998).

3. A Cultura do Arroz

Conforme a Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (Sosbai, 2016), o arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais importantes para nutrição humana, sendo base alimentar de 3 bilhões de pessoas no mundo.

Em termos de produção mundial, o continente asiático se caracteriza como o maior produto de arroz do mundo, sendo responsável por 90% do total da produção do arroz no mundo (Vigneshwari, Arunachalam & Angayarkanni, 2018). Segundo os dados da Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), em 2016, o Brasil era o segundo maior produtor mundial de soja; o terceiro maior produtor de milho; e o nono maior produtor mundial de arroz, produzindo mais de 12 milhões de toneladas de arroz na safra 2016/2017. Nacionalmente, o arroz ocupa a terceira posição, em volume produzido, ficando atrás apenas das culturas da soja e do milho (Conab, 2015; Conab, 2017). A Tabela 1 apresenta os principais produtores de arroz do mundo.

Tabela 1: Principais produtores de arroz.

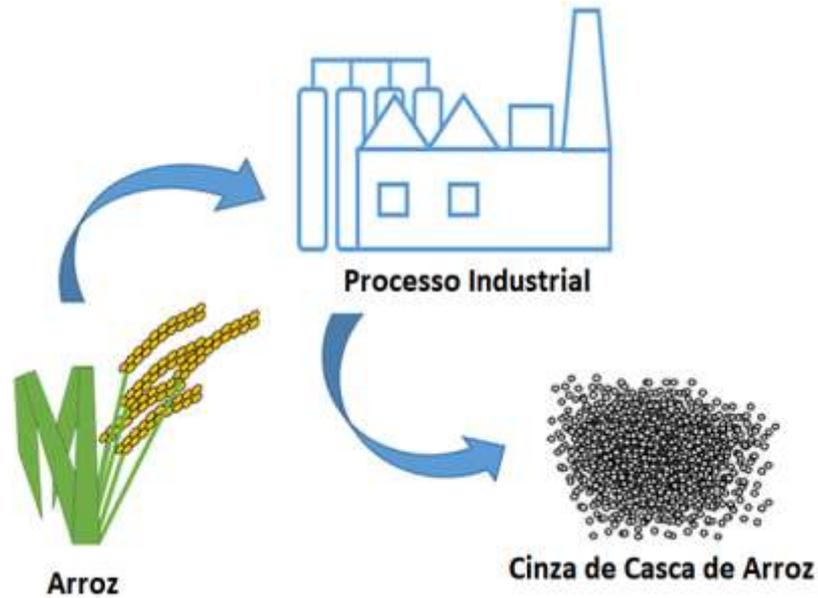
Ranking	Produção (toneladas)
China	212.129.000
Índia	172.580.000
Indonésia	83.037.000
Bangladesh	56.417.319
Vietnã	44.046.250
Tailândia	32.192.087
Myanmar	25.418.142
Filipinas	19.066.094
Brasil	11.749.192
Paquistão	10.802.949

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018).

3.1 CCA na construção civil

Segundo Rigon (2015) e Calheiro, et al. (2016) a CCA é um resíduo sólido de expressiva geração no Brasil, especialmente Rio Grande do Sul (RS), o qual é resultante da combustão da CA utilizada como combustível para a geração de energia (Figura 1 e 2).

Figura 1: Processo de produção da CCA.



Fonte: Adaptado de Vidal, Araújo e Freitas (2018).

Figura 2: a) Cascas de arroz; (b) Cinza da casca de arroz.



Fonte: Glushankova, et al. (2018).

Como resultado são geradas milhares de toneladas de CCA, o que prejudica o seu gerenciamento, pois demanda muito espaço para o devido ao acúmulo e descarte (Calheiro, et al., 2016; Nascimento, et al., 2015). As Figuras 3 e 4 ilustram o descarte incorreto do resíduo industrial de CCA.

Figura 3: Depósito de CCA a céu aberto.



Fonte: Pouey (2006).

Figura 4: Depósito de CCA ao longo da estrada.



Fonte: Santos (1997).

Historicamente, a utilização de CCA em concreto tem como um precursor Beagle, que em 1924, introduziu pela primeira vez o arroz nesse tipo de formulação. As décadas de 40 e 50, foram internacionalmente marcadas pelo desenvolvimento de diversos trabalhos, incluindo as primeiras pesquisas de blocos confeccionados com cimento Portland e CCA. Em 1973, Metha desenvolve diferentes trabalhos sobre o efeito da queima na atividade pozolânica, o qual, mais tarde, serviu para o desenvolvimento do estudo sobre a compreensão do grau de pozolanicidade das CCA, conforme a temperatura de queima (Tiboni, 2007).

Os anos seguintes foram caracterizados pela consolidação da utilização das CCA em diversas partes do mundo. Em geral, a literatura cita vários tipos de trabalhos, entres esses estudos, destacam-se: a substituição de cimento Portland por CCA em concreto massa, utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações, primeiro Workshop sobre o CCA, estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA, produção e emprego de CCA como material cimentício, efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa, morfologia e características químicas e físicas da CCA, hidratação e microestruturas de pastas de cimento produzidas com diferentes CCA e patente relativa aos produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento (Tiboni, 2007; Silva, 2009).

No Brasil, os primeiros estudos desenvolvidos com CCA foram realizados por Isaia (1995), Gava (1999), Isaia (2005), Pouey (2006) e Metha e Monteiro (2008). A Tabela 2 sumariza os principais trabalhos realizados ao longo dos anos sobre CCA.

Tabela 2: Estrutura cronológica do conhecimento sobre CCA.

Ano	Local	Autor(es)	Trabalho(s)
1924	Alemanha	Beagle	Utilização de CA no concreto
1940 e 1950	-	Diversos	Blocos confeccionados com cimento Portland e cinza e casca de arroz
1973	Bélgica	Metha	Primeira patente no assunto
1976	-	Pitt	Controle de combustão em leito fluidizado
1978	Índia	Metha e Pirtz	Substituição de cimento Portland por CCA em concreto massa
1979	Índia	Prakash	Utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações
1979	Paquistão	-	Primeiro Workshop sobre o assunto
1981	Ásia	Cook	Estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA
1982	Japão	-	Produção e emprego de CCA como material cimentício
1984	Israel	Hana Yousif	Efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa
1986	Índia	James e Rao	Morfologia e características químicas e físicas da CCA
1989	Tailândia	Hwang e Wu	Hidratação e microestrutura de pastas de cimento produzidas com diferentes CCA
1994	Estados Unidos	Metha	Patente relativa a produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento
1995	Brasil	Isaia	Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de alto desempenho
1999	Brasil	Gava	Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da atividade pozolânica
2001	Espanha	Paya	Determinação da sílica amorfa na CCA por um rápido método analítico
2005	Brasil	Isaia	Cinza de casca de Arroz in: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações
2006	Brasil	Pouey	Beneficiamento da CCA residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico
2008	Brasil	Metha e Monteiro	Cinza de casca de arroz in: Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais

Fonte: Silva (2009).

Embora as primeiras aplicações no Brasil datem da década de 90, somente no início do ano de 2000 é que ocorreu um maior interesse para sua utilização, devido ao grande volume de resíduos sólidos gerado, principalmente no sul do país.

Sua recente aplicação em composições de concretos e argamassas se dá em função de ser uma matéria-prima barata, abundante e origem renovável. Além dessas características, outras vantagens são a existência de compostos nobres nos resíduos de arroz, como por exemplo, a sílica, que podem trazer enormes benefícios aos processos industriais do concreto e outros tipos de materiais (Prasara-a & Gheewala, 2017). E ainda, Moraes, et al. (2010) destacam as composições de cimento contendo sílica, em relação à pasta de cimento Portland sem adições, tende a exibir uma microestrutura mais densa, menos heterogênea e mais compacta, e com menor proporção de vazios desenvolvidos. A reação da sílica com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento gera um composto resistente de silicato de cálcio hidratado. Esse composto tende a preencher os grandes vazios capilares, com excelentes características de aderência, diferentes e até melhores que o silicato de cálcio hidratado obtido com a hidratação do cimento Portland.

Neste contexto, verifica-se o desenvolvimento de diferentes pesquisas com a utilização do CCA em formulações de concreto e argamassa (Habeeb & Mahmud, 2010; Zain, et al., 2011; Van, et al., 2013; Salazar-carreno, Garcia-caceres & Ortiz-rodriguez, 2015; Park, Kwon & Wang, 2016; Vigneshwari, Arunachalam & Angayarkanni, 2018; Sharma & Sharma, 2018; Hu, He & Zhang, 2020). No Brasil, a literatura baila as pesquisas desenvolvidas em Santa Catarina (SC), São Paulo e RS (Tiboni, 2007).

Nos estudos desenvolvidos no RS, destaca-se os realizados pelo Grupo de Pesquisa em Materiais e Reciclagem (GMAT) e Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat), ambos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Dentre os materiais estudados têm-se CCA, cuja experiência é descrita nos parágrafos seguintes.

Kieling, et al. (2009) investigaram a influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. No estudo apresentado foram preparadas argamassas com 0%, 5% e 10% de CCA em substituição ao cimento em volume. As composições foram submetidas aos ensaios de resistência de aderência à tração. Os resultados obtidos indicaram que a argamassa com 5% de CCA apresenta uma menor quantidade de vazios na interface entre os agregados.

Moraes, et al. (2010) analisaram a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de resíduos de CCA em revestimentos de argamassa. As amostras foram analisadas quanto à resistência mecânica por meio dos ensaios de resistência de aderência à tração. Além disso, as argamassas foram avaliadas em função da análise do ciclo de vida (ACV). Como resultado, os autores observaram que as misturas compostas com CCA apresentaram resultados superiores em relação aquelas confeccionadas com material convencional.

Wilbert, Kazmierczak e Kulakowski (2017), analisaram a interface entre agregados reciclados de concreto e argamassas de concretos com CCA e fíler basáltico por nanoindentação. Em linhas gerais, os resultados demonstraram que a utilização de CCA aumenta a dureza da região de interface entre os agregados.

Estudos desenvolvidos por Guillante, et al. (2019), avaliaram o efeito sinérgico da CCA e do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) na mitigação da reação álcali agregado. As composições foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão e ensaio acelerado de reação álcali agregado (RAA). Os resultados de ensaio acelerado de RAA mostraram que a CCA é prejudicial para a RAA, mesmo quando aplicada com agregado não reativo. Enquanto o RCV mostrou-se ser capaz de aliviar a RAA, mesmo quando empregado em conjunto com a CCA. No estudo da resistência à compressão, a CCA pode compensar uma pequena perda de resistência associada ao uso de RCV.

Cecconello, et al. (2019) investigaram a retração e porosidade em concretos produzidos com agregado reciclado de concreto (ARC) e CCA. Os autores estudaram a inclusão de 25 e 50% de ARC graúdo, e 10 e 20% de CCA em substituição ao cimento. Os concretos foram avaliados quanto a absorção e água capilar e total, bem como a porosidade e retração. A partir dos resultados, os autores verificaram um efeito significativo da interação entre ARC e CCA.

3.2 Características

Nos estudos realizados no Brasil, observa-se que a maioria dos trabalhos que estudam a CCA na construção civil mostram que grande parte dessas cinzas apresentaram características pozolânicas gerada de sua estrutura química amorfa e de sua alta concentração de sílica, entre 74% e 97% (Silva, 2009; Moraes, et al., 2010). Devido ao seu alto teor de óxido de silício, a CCA é utilizada passa a ser uma alternativa para diversas aplicações industriais, em especial na área da construção civil, como mineral pozolânico para argamassas, concretos, ou como material estabilizante de solos para obras rodoviárias.

Neste sentido, Nascimento, et al. (2015) estudaram a caracterização físico-química da CCA proveniente do processo termelétrico do sul de SC. Em seu estudo, foi utilizado uma CCA fornecida por uma cooperativa de arroz da região sul de SC. No estudo, os autores avaliaram as propriedades químicas por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX), usando o equipamento espectrômetro PHILIPS, modelo PW 2400, com tubos de raios-x de 3kW e alvo de ródio com

sistema de análise sequencial (com goniômetro). Os resultados de FRX encontrados pelos autores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Composição química da CCA.

Óxidos	(%)
Dióxido de silício (SiO ₂)	86,37
Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	4,79
Óxido de potássio (K ₂ O)	3,09
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	1,16
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	0,86
Óxido de magnésio (MgO)	0,68
Óxido de cálcio (CaO)	0,63

Fonte: Adaptado de Nascimento, et al. (2015).

De acordo com os resultados da Tabela 3, nota-se elevada porcentagem, em peso, do componente dióxido de silício (86,37%). Também foram identificados os componentes pentóxido de fósforo (4,79%), óxido de potássio (3,09%), óxido de ferro (1,16%), óxido de alumínio (0,86%), óxido de magnésio (0,68%) e óxido de cálcio (0,63%).

Resultados semelhantes foram observados por Nehdi, Duquette e Damatty (2003), Park, Kwon e Wang, 2016, Calheiro, et al. (2016), Vigneshwari, Arunachalam e Angayarkanni (2018), Sharma e Sharma, 2018, Guillante, et al. (2019), Cecconello, et al. (2019), Hu, He e Zhang (2020). Hu, He e Zhang (2020) avaliaram as CCAs em diferentes tempos de combustão. Segundo Chen, et al. (2015) as características químicas da CCA provêm do processo de queima (Tabela 4).

Além desses fatores, Chaves, et al. (2009) explicam que a composição química da CA varia em função de outros fatores. Entre eles, mencionam as características do solo em que o arroz foi plantado, o tipo e teor de fertilizantes utilizados, condições climáticas e o tipo de arroz.

Tabela 4: Composição elementar da CCA relacionada ao processo de queima.

Referência	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MnO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	P ₂ O ₃ (%)	Outros (%)	Processo de queima	T (°C) empregada
Deng, et al. (2016) China	98,64	0,38	0,03	0,238	0,249	N/E	0,218	0,12	0,125	N/E	N/E	N/E	Pirólise	600
Alvarez, et al. (2014) Espanha	98,0	0,52	0,02	0,11	0,23	0,01	0,11	0,10	0,38	N/E	0,08	0,42	Pirólise	400, 450, 500 e 600
Fernandes, et al. (2016) Brasil	96,71	0,09	N/E	0,01	N/E	0,01	N/E	N/E	0,69	0,06	0,23	N/E	Leito fluidizado	700
Bakar; Yahya; Gan (2016) Malásia	95,77	0,046	N/E	0,05	0,667	0,054	0,397	1,259	0,618	0,653	0,459	0,027	Mufla	500, 600, 700, 800 e 900
Chen, et al. (2015) China	94,8	1,27	N/E	0,56	0,45	N/E	0,19	0,12	0,62	N/E	1,49	0,5	Leito fluidizado	650, 675, 700, 725 e 750
Lee, et al. (2017) Coreia	94,7	0,08	N/E	0,06	1,42	0,18	0,54	0,09	1,7	N/E	N/E	1,23	Pirólise	800
Hossain, et al. (2017) Índia	92,81	N/E	0,112	0,312	0,417	N/E	0,212	2,658	1,021	0,132	1,071	1,255	N/E	500
Sobrosa, et al. (2017) Brasil	91,48	N/E	0,003	0,05	0,36	0,32	0,32	0,04	1,4	0,15	0,45	N/E	Leito fluidizado	650

N/E = Não encontrado/ não citado no artigo de referência.

Fonte: Adaptado de Camargo, et al. (2018).

As características tecnológicas da CCA são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades físicas da CCA.

Propriedades	Resultados
Massa específica	2,07 g/cm ³
Área de superfície específica	27,12 m ² /g
Tamanho médio de partícula	24,73 µm

Fonte: Vidal, Araújo e Freitas (2018).

Quanto a reatividade da CCA varia conforme o método utilizado para obtenção da sílica (Hamdan, et al., 1997; Rambo, 2009). Segundo Fernandes (2006), a sílica a partir da CCA pode ser obtida por duas técnicas: calcinação com atmosfera controlada (entre 400-700°C) e lixiviação em meio alcalino. O método de calcinação com atmosfera controlada se caracteriza por apresentar uma sílica cristalina e pouco reativa, com uma área de superfície específica de 10m²/g e baixo valor econômico. No caso da obtenção da sílica por meio do procedimento de lixiviação em meio alcalino, a sílica resultante da CCA é constituída por uma forma pura, com solubilização sob condições alcalinas e precipitação em baixo pH (Brinker & Scherer, 1990).

4. Considerações Finais

A presente pesquisa buscou agregar com embasamento científico os efeitos benéficos da utilização da CCA gerados constantemente em grandes volumes por usinas elétricas. A partir deste estudo, observa-se que o uso do resíduo industrial da CCA mostra-se como uma alternativa promissora para a mitigação de impactos ambientais causados pela construção civil, tanto em termos de grandes quantidades gerados e a necessidade de sua correta destinação, assim como minimizar a utilização de cimento Portland e aumento da durabilidade dos concretos e argamassas, visto que apresenta desempenho superior quando comparado aos materiais usualmente utilizados em diversas obras.

Referências

- Angel, J. D. M., Vásquez, T. G. P., Junkes, J. A., & Hotza, D. (2009). Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. *Química nova*, 32(5), 1110-1114.
- Anjos, M. A. S., Martinelli, A. E., Melo, D. M. A., Renovato, T., Souza, P. D. P., & Freitas, J. C. O. (2013). Hydration of oil well cement containing sugarcane biomass waste as a function of curing temperature and pressure. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 109, 291-297.
- ASTM ASTM C593. (2019). *Standard specification for fly ash and other pozzolans for use with lime for soil stabilization*.
- Botelho, J. M., & Cruz, V. A. G. (2013). *Metodologia Científica*: Pearson Education do Brasil.
- Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (1990). *Sol-Gel Science: The physics and chemistry of sol-gel processing*. Academic Press, San Diego CA.
- Calheiro, D., Fernandes, I. J., Kieling, A. G., Moraes, C. A. M., Kulakowski, M. P., & Brehm, F. A. (2016). Influência da segregação granulométrica e do emprego de aditivos de moagem na adequação de cinzas de casca de arroz como coproduto. *Matéria*, 21(2), 270-281.
- Camargo, A. F., Brandler, D., Modkovski, T. A., Scapini, T., & Treichel, H. (2018). Uma revisão sobre a influência dos processos de queima na composição da cinza da casca de arroz visando produção de sílica. *Revista CIATEC*, 10(2), 42-57.
- Chaves, T. F., Queiroz, Z. F., Sousa, D. N. R., Girão, J. H. S., & Rodrigues, E. A. (2009). Uso da cinza da casca de arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn(II) em soluções aquosas. *Química Nova*, 32(6), 1378-1383.
- Chen, G., Du, G., Ma, W., Yan, B., Wang, Z., & Gao, W. (2015). Production of amorphous rice husk ash in a 500 kW fluidized bed combustor. *Fuel*, 144, 214-221.

- Chen, Q., Zhang, Q., Qi, C., Fourie, A., & Xiao, C. (2018). Recycling phosphogypsum and construction demolition waste for cemented paste backfill and its environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 186, 418-429.
- Cecconello, V., Sartori, B. R. C., Kulakowski, M. P., Kazmierczak, C. S., & Mancio, M. (2019). Shrinkage and porosity in concretes produced with recycled concrete aggregate and rice husk ash. *IBRACON Structures and Materials Journal*, 12(3), 694-704.
- Conab. (2015). *A cultura do arroz*: Conab.
- Conab. (2017). *Acompanhamento da safra Brasileira de grãos: Terceiro levantamento, safra 2017/18*.
- Fao. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity.
- Fernandes, A. A. (2006). *Síntese de zeólitas e wolastonita à partir da cinza da casca do arroz*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Foletto, E. L., Hoffmann, R., Hoffmann, R. S., Portugal Jr., U. L., & Jahn, S. L. (2005). Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. *Química Nova*, 28(6), 1055-1060.
- Gava, G. P. (1999). *Estudo comparativo de diferentes metodologias para a avaliação da atividade pozolânica*. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado.
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa*: Editora da UFRGS.
- Gil, A. C. (2008). *Como elaborar projetos de pesquisa*: Atlas.
- Glushankova, I., Ketov, A., Krasnovskikh, M., Rudakova, L., & Vaisman, I. (2018). Rice Hulls as a Renewable Complex Material Resource. *Resources*, v. 7(31).
- Guillante, P., Abreu, A. G., Kulakowski, M. P., Mancio, M., & Kazmierczak, C. S. (2019). Synergistic effect of RHA and FCW in alkali-aggregate reaction mitigation. *Ambiente Construído*, 19(2), 7-20.
- Habeeb, G. A., & Mahmud, H. B. (2010). Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. *Materials Research*, 13(2), 185-190.
- Hamdan, H., Muhid, M. N. M., Endud, S., Listiorini, E., & Ramli, Z. (1997). ²⁹Si MAS NMR, XRD and FESEM studies of rice husk silica for the synthesis of zeolites. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 211, 126-131.
- Hu, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121744.
- Isaia, C. I. (1995). *Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura*. Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado.
- Isaia, C. I. (2005). *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*: IBRACON.
- Kieling, A. G., Caetano, M. O., Kulakowski, M. P., & Kazmierczak, C. S. (2009). Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. *Estudos Tecnológicos*, 5, 157-170.
- Mehta, P. K. (1992). Rice husk as: a unique supplementary cementing material. In: *Proceedings of the International Symposium on Advances in Concrete Technology*. Athens, Greece. 407-430.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. (2008). *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. (3a ed.): IBRACON.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*: PINI.
- Memon, S. A., & Khan, M. K. (2018). Ash blended cement composites: Eco-friendly and sustainable option for utilization of corncob ash. *Journal of Cleaner Production*, 175, 442-455.
- Moraes, C. A. M., Kieling, A. G., Caetano, M. O., & Gomes, L. P. (2010). Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(2), 1170-1176.
- Nascimento, G. C., Domingui, L., Mello, J. M. M., Magro, J. D., Riella, H. G., & Fiori, M. A. (2015). Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina – Brasil. *Ciência e Natureza*, 37(4), 634-640.
- Nehdi, M., Duquette, J., & Damatty, A. E. L. (2003). Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(8), 1203-1210.
- Park, K. B., Kwon, S. J., & Wang, X. Y. (2016). Analysis of the effects of rice husk ash on the hydration of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 105, 196-205.
- Pouey, M. T. F. (2006). *Beneficiamento da cinza de casca de arroz com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado.
- Prasara-A, J., & Gheewala, S. (2017). Sustainable utilization of rice husk ash from power plants: A review. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1020-1028.

- Rambo, M. K. D. (2009). *Aproveitamento da casca de arroz para produção de xilitol e sílica xerogel*. Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação de Mestrado.
- Rigon, M. R. (2015). Avaliação ambiental do uso da casca de arroz como biomassa para fins energéticos e do coproduto cinza aplicado ao concreto. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Dissertação de Mestrado.
- Salazar-Carreno, D., Garcia-Caceres, R. G., & Ortiz-Rodriguez, O. O. (2015). Laboratory processing of Colombian rice husk for obtaining amorphous silica as concrete supplementary cementing material. *Construction and Building Materials*, 96, 65-75.
- Santos, S. (1997). *Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos*. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado.
- Sharma, D., & Sharma, R. (2018). Influence of rice husk ash and rice tiller ash along with chromate reducing agents on strength and hydration properties of Ordinary Portland Cement. *Construction and Building Materials*, 169, 843-850.
- Schneider, S., & Schimitt, C. J. (1998). O uso do método comparativo nas Ciências Sociais. *Cadernos de Sociologia*, v.9, Porto Alegre.
- Silva, E. J. (2009). *Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil*. Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado.
- Sosbai. (2016). *Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil: SOSBAI*.
- Tashima, M. M., Fioriti, C. F., Akasaki, J. L., Bernabeu, J. P., Sousa, L. C., & Melges, J. L. P. (2012). Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozzolânica. *Ambiente Construído*, 12(2), 151-163.
- Tiboni, R. (2007). *A utilização de cinza de casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland*. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado.
- Trentin, P. O., Manica, J., Vanzetto, S. C., Marangoni, B., & Zaleski, A. (2020). Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. *Matéria*, 25, 12576.
- Usman, M., Khan, A. Y., Farooq, S. H., Hanif, A., Tang, S., Khushnood, R. A., & Rizwan, S. A. (2018). Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating wood waste as cement replacement: A feasibility study. *Journal of Cleaner Production*, 190, 679-688.
- Van, V. T. A., Rößler, C., Bui, D. D., & Ludwig, H. M. (2013). Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system. *Construction and Building Materials*, 43, 208-216.
- Vasconcelos, A. R. B., & Akasaki, J. L. (2010). Análise da durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de cinza de casca de arroz e borracha de pneu. *Ambiente Construído*, 10, 77-90.
- Vidal, A. V., Araujo, R. G. S., & Freitas, J. C. O. (2018). Sustainable cement slurry using rice husk ash for high temperature oil well. *Journal of Cleaner Production*, 204, 292-297.
- Vigneshwari, M., Arunachalam, K., & Angayarkanni, A. (2018). Replacement of silica fume with thermally treated rice husk ash in Reactive Powder Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 188, 264-277.
- Zhang, M. H., Lastra, R., & Malhotra, V. M. (1996). Rice-husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste. *Cement and Concrete Research*, 26(6), 963-977.
- Zain, M. F. M., Islam, M. N., Mahmud, F., & Jamil, M. (2011). Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 25(2), 798-805.
- Wilbert, D. G. B., Kazmierczak, C. S., & Kulakowski, M. P. (2017). Análise da interface entre agregados reciclados de concreto e argamassas de concretos com cinza de casca de arroz e filer basáltico por nanoindentação. *Ambiente Construído*, 17(2), 253-268.