

**Análise experimental da influência da cinza de casca de arroz sem queima controlada  
como adição mineral ao concreto**

**Experimental analysis of the influence of rice husk ash without controlled burning as a  
mineral addition to the concrete**

**Análisis experimental de la influencia de ceniza de cascara de arroz sin queima  
controlada como una adición mineral al hormigón**

Recebido: 02/09/2019 | Revisado: 06/09/2019 | Aceito: 20/09/2019 | Publicado: 04/10/2019

**Sâmara Ferreira dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6416-7676>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [samara.engcivil@yahoo.com.br](mailto:samara.engcivil@yahoo.com.br)

**Luana de Almeida Moreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6875-7737>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [luanamoreiraa@live.com](mailto:luanamoreiraa@live.com)

**Ladir Antônio da Silva Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0193-7060>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [ladir@hotmail.com](mailto:ladir@hotmail.com)

**Resumo**

Esta pesquisa consiste na avaliação do potencial de uma cinza de casca de arroz (CCA) sem controle de queima na substituição parcial do cimento para confecção de concreto. Em um contexto ambiental, a produção de cimento faz da indústria cimenteira uma das maiores emissoras de dióxido de carbono no mundo. Neste sentido, a CCA é utilizada na construção civil em argamassas e concretos, devido a sua propriedade pozolânica, com o objetivo de reduzir o consumo de cimento nas misturas de concreto e, conseqüentemente, aumentar a sustentabilidade das atividades da construção civil. O objetivo desta pesquisa consistiu em substituir na mistura do cimento, 10%, 15% e 20% do cimento, em peso, pela CCA. Posteriormente foram avaliados a trabalhabilidade dos mesmos em cada uma das misturas; a resistência à compressão do concreto e indicadores de durabilidade através de ensaios de absorção em determinadas idades. O processo metodológico consistiu através de um programa

experimental, na caracterização da CCA, ensaios de caracterização dos agregados constituintes do concreto e análise da viabilidade estrutural do concreto com adição de CCA. Os ensaios B.E.T e granulometria a laser foram utilizados para caracterização da CCA e do cimento Portland utilizado. Foi possível observar que a CCA utilizada nessa pesquisa apresenta granulometria e superfície específica muito maior quando comparada com o cimento Portland. Devido a isso e ao fato da CCA possuir superfície porosa e irregular, o concreto com CCA teve sua trabalhabilidade afetada no estado fresco, sendo que o abatimento no ensaio de slump test foi nulo para os traços com 10% e 15% de substituição, enquanto no traço referência ele foi igual a 80 mm. Os resultados indicam que a CCA, sem controle de queima utilizada na pesquisa, apresenta baixa propriedade pozzolânica. Entretanto, os corpos de prova confeccionados com a CCA apresentaram um percentual de ganho de resistência à compressão na idade de 28 dias maior que o concreto referência. Aos 56 dias o traço com 10% de substituição pela CCA atingiu a resistência característica adotada na pesquisa, porém ainda abaixo da resistência característica do concreto referência. Em relação aos ensaios de indicadores de durabilidade, os corpos de prova com CCA apresentaram inicialmente maior teor de absorção de água, em todos os traços aos 28 dias de cura, sendo que aos 56 dias o traço com substituição do cimento por CCA em 10% teve uma redução na absorção de 2,4% em relação aos 28 dias e o traço de 15% uma redução de 1,79%. Os resultados obtidos relativos às propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto com uso da CCA estão apresentados neste artigo de forma a colaborar para a disseminação do uso deste resíduo na indústria da construção civil.

**Palavras-chave:** Caracterização; Resíduo; Viabilidade.

### **Abstract**

This research consists of the evaluation of the rice husk ash (RHA) without controlled burning potential in the partial replacement of cement in the concrete fabrication. In an environmental context, the manufacture of cement makes the cement industry one of the largest emitters of carbon dioxide in the world. RHA is used in mortars and concretes, due to its pozzolanic property, with the objective of cement consume reduction in the concrete blends and, consequently, increase the sustainability of civil construction activities. The objective of this research consisted of 10%, 15% and 20% of cement (by weight) replacement by the RHA. Posteriorly, the RHA workability, the uniaxial compressive strength and the durability of the concrete were evaluated. The methodology consisted of an experimental program. Characterization tests of the RHA and the concrete constituent aggregates were carried out. Besides, structural viability of the concrete with RHA were evaluated. B.E.T and laser granulometry tests were carried out in the concrete with RHA and the cement. The RHA used in this research presented much larger particle size and specific surface area when compared with Portland cement. Due to this

fact, the irregular surface and porosity of the RHA, the concrete with RHA had its workability affected in the fresh condition. Slump test were carried out and the results were null for concretes with 10% and 15% of RHA. In case of default concrete trace, the result of slump test was equal to 80 mm. The obtained results indicate that the RHA without controlled burning used in this research presents low pozzolanic property. However, the specimens prepared with the RHA presented a percentage of uniaxial compressive strength gain at 28 days of age greater than the default concrete. At 56 days, the concrete trace with replacement of 10% of RHA achieved the characteristic strength adopted in the research. However, the result obtained was still below the characteristic strength of the default concrete. Regarding the durability tests, the specimens with the RHA presented higher water absorption content in all traces at 28 days of age. At 56 days of age, the concrete with 10% of RHA presented a absorption reduction equal to 2.4% compared to the concrete at 28 days. At 56 days of age, the concrete with 15% of RHA presented a absorption reduction equal to 1.79% compared to the concrete at 28 days. The results obtained related to the mechanical and durability properties of concrete with RHA without controlled burning are presented in this article in order to contribute to the dissemination of the use of this waste in the civil construction industry.

**Keywords:** Characterization; Waste; Viability.

## Resumen

Esta investigación consiste en la evaluación de potencialidad de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) sin control de combustión en el reemplazo parcial de cemento en la fabricación de hormigón. En un contexto ambiental, la fabricación de cemento convierte a la industria del cemento en uno de los mayores emisores de dióxido de carbono del mundo. La CCA es utilizada en morteros y hormigones, debido a su propiedad puzolánica, con el objetivo de reducir el consumo de cemento en las mezclas de hormigón. Consecuentemente la sostenibilidad de las actividades de construcción civil es aumentada. El objetivo de esta investigación consistió en el reemplazo de 10%, 15% y 20% de cemento (en peso) por la ceniza de cascarilla de arroz. Posteriormente, la trabajabilidad de la CCA, la resistencia a la compresión uniaxial y la durabilidad del concreto fueron evaluadas. La metodología consistió en un programa experimental. Ensayos de caracterización de la CCA y los agregados constituyentes del hormigón fueron realizados. La viabilidad estructural del concreto con CCA fue evaluada. Los ensayos B.E.T y de granulometría láser fueron realizados en el hormigón con CCA y el cemento. La CCA utilizada en esta investigación presentó el tamaño de partícula y una área superficial específica mucho mayor en comparación con el cemento Portland. Debido a eso, la superficie irregular y la porosidad de la CCA, el concreto con CCA tuvo su trabajabilidad afectada en la condición fresca. El Slump test fue realizado y los resultados fueron nulos para los hormigones con 10% y 15% de CCA. En caso de hormigón de referencia, el resultado del ensayo fue igual a 80 mm. Los resultados obtenidos indican que la CCA sin quema controlada que fue utilizada en esta investigación presenta propiedad pozzolánica baja. Sin

embargo, los cuerpos de prueba de hormigón con CCA presentaron un porcentaje de ganancia de resistencia a la compresión uniaxial a los 28 días de edad mayor que el hormigón referencia. A los 56 días, el hormigón con reemplazo de 10% de CCA alcanzó la resistencia característica adoptada en la investigación. Sin embargo, el resultado obtenido estaba abajo de la resistencia característica del hormigón referencia. Considerando los ensayos de durabilidad, los cuerpos de prueba de hormigón con CCA presentaron un mayor contenido de absorción de agua en todos los tipos de hormigón a los 28 días de edad. A los 56 días de edad, el hormigón con 10% de CCA presentó una reducción de absorción igual a 2,4% en comparación con el concreto de 28 días de edad. A los 56 días de edad, el concreto con 15% de CCA presentó una reducción de absorción de agua igual a 1,79% en comparación con el concreto de 28 días de edad. Los resultados obtenidos relacionados con las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón con CCA sin combustión controlada son presentados en este artículo para contribuir a la difusión del uso de estos residuos en la industria de la construcción civil.

**Palabras clave:** Caracterización; Residuo; Viabilidad.

## 1. Introdução

A incorporação de resíduos em misturas a base de cimento, tem sido cada vez mais utilizada em pesquisas do ramo da engenharia civil, por apresentar vantagens técnicas e benefícios sociais relacionados com o aproveitamento de matéria orgânica disponível na natureza, além de contribuir para a sustentabilidade (Marques *et al.*, 2006).

Em contrapartida, o concreto é um dos materiais mais utilizados nas obras de construção civil, devido suas propriedades quanto a durabilidade, trabalhabilidade e versatilidade, além disso a produção de cimento, emite grande quantidade de dióxido de carbono, e faz da indústria cimenteira uma das maiores emissoras de CO<sub>2</sub> no mundo (Benhelal *et al.*, 2013).

Dentro do expansivo mercado atual, existem diversos tipos de concretos com características relevantes, ao se considerar o tipo de obra a ser realizada. Dentre eles, o concreto estrutural convencional, que é comumente utilizado no dia a dia da construção civil. Este apresenta resistência característica entre 20 a 30 MPa, além de baixa trabalhabilidade e consistência seca. Segundo Moraes *et al.* (2000), a resistência mecânica do concreto está intimamente relacionada à composição do concreto e aos cuidados na seleção e dosagem dos materiais. Quanto à sua composição, o seu desempenho está subordinado à qualidade da pasta, a qual define como será a estrutura dos poros.

A substituição parcial de cimento por resíduos do tipo pozolana, pode melhorar o desempenho do concreto estrutural, além de reduzir custos. Uma vez que implica na economia de energia e redução do custo de fabricação do cimento, a fim de testar a potencialidade desses materiais (Marques *et al.*, 2006).

A cinza de casca de arroz (CCA) é dos resíduos gerados pela agroindústria, na qual tem origem do processo de beneficiamento de arroz, este resíduo pode apresentar altas porcentagens de sílica reativa ou amorfa após o processo de queima controlada de sua casca, que em geral é utilizada na construção civil em argamassas e concretos, devido sua propriedade pozolânica, desta forma, parte do cimento é substituído por CCA (Foletto *et al.*, 2005).

O aproveitamento da CCA, colabora para a geração de sustentabilidade. Uma vez que descartada de forma incorreta no ambiente provoca poluição tanto do solo quanto do ar, por apresentar em sua composição, considerável quantidade de carbono residual, na qual Meyer (1994) afirma que este é um potencial causador de doenças.

Esta pesquisa se baseia, sobretudo, no aproveitamento de resíduos e adição de novos materiais ao concreto levando em conta os estudos de Real (2018) e Gomes (2018), uma vez que afirmam que a incorporação de materiais no concreto, como utilização de meios alternativos como a cinza de casca de arroz e sílicas ativas, bem como suas combinações afetam positivamente as características do concreto, além de reduzir o consumo de Cimento Portland.

Os objetivos desta pesquisa foram contemplados em substituir 10, 15 e 20% do cimento, em peso, pela CCA na mistura do concreto, avaliar a trabalhabilidade em cada uma das misturas, bem como, no estado endurecido a resistência à compressão (7, 28, e 56 dias) e indicadores de durabilidade através de ensaios de absorção (28 e 56 dias).

Desse modo, este estudo comparativo permitiu verificar a funcionalidade e os benefícios da utilização do concreto submetido à incorporação da cinza de casca de arroz em sua mistura, para a indústria da construção civil, visando à sustentabilidade. Além disso, possibilitou determinar as quantidades em número de cada insumo, analisar e tabular os resultados, satisfazendo as normas técnicas vigentes da engenharia civil.

## **2. Contexto Histórico**

### **2.1. O concreto e suas características**

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), algumas razões tornam o concreto essencial na engenharia. A primeira delas é a propriedade de resistência do concreto à água, que diferentemente de materiais como madeira e aço, não possui grave deterioração quando em contato com a mesma. A segunda razão são as diferentes formas com que o concreto pode ser trabalhado. A terceira razão para o uso do concreto é o baixo custo e a rapidez com que ele é disponível na obra. Essa razão se explica pelo fato de os materiais que o constituem – agregado, água e Cimento Portland – possuírem baixos custos e estarem disponíveis em quase todo o mundo.

O concreto tem como principal característica a resistência à compressão simples. A variação de índices de resistência dá-se, principalmente, pela relação água/cimento (a/c), sendo que, quanto menor esta relação, maior será a resistência do concreto. Sua durabilidade dependerá do local onde está inserido e como será mantido, além de fatores originários desde sua produção, como porosidade e processos de adensamento e cura (Recena; Serra, 2002).

## **2.2. Adições minerais no concreto**

Adições minerais são materiais com propriedades pozolânicas (definida pela NBR 12653 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014) e/ou cimentícias, adicionadas ao cimento, antes ou durante a mistura, em quantidades que variam geralmente entre 5 e 70% da massa do cimento. O seu emprego pode ser feito em substituição de parte do cimento, visando a redução dos custos e como adição em percentuais variáveis em relação à massa de cimento, geralmente com uso concomitante com aditivos superplastificantes.

De acordo com Fonseca (2010), várias propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto endurecido, são afetadas positivamente com o uso das adições minerais. Logo, a eficiência desta adição mineral no comportamento do concreto pode variar em função da quantidade utilizada e das condições de cura, bem como em função da sua composição química, mineralógica e granulométrica. Porém, de uma maneira geral, os mecanismos pelos quais as adições minerais influenciam as propriedades do concreto fresco e endurecido dependem mais do tamanho, forma e textura das partículas do que da sua composição química.

De acordo com a NBR 12653 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014), o termo “pozolana” ou “material pozolânico” se aplica àqueles materiais com pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas que apresentam esta propriedade em presença de água. A classificação apresentada pela NBR 12652 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992) divide os materiais pozolânicos em naturais e artificiais. As pozolanas naturais são materiais de origem vulcânica ou de origem sedimentar com aproximadamente 65% de SiO<sub>2</sub> em sua composição.

Barbosa (2006) salienta, em seu estudo, a classificação das pozolanas como materiais naturais que não necessitam de tratamentos e que levam a modificações químicas e mineralógicas (rochas vulcânicas, argilas calcinadas), e como materiais artificiais são originadas de transformações químicas (cinza volante, sílica ativa, cinza de casca de arroz). Além disso, o autor salienta que as pozolanas são capazes de reagir com hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação dos minerais – silicatos – que compõem o cimento liberando com ele e fixando-o à temperatura ambiente, e desempenham um significativo papel

quando empregadas em substituição ao cimento Portland, aumentando a resistência mecânica do concreto.

### 2.3. Cinza de Casca de Arroz (CCA)

A Cinza de Casca de Arroz (CCA), é um subproduto das indústrias beneficiadoras de arroz, proveniente da combustão da casca de arroz utilizada como fonte energética para secagem e parboilização dos grãos (Mehta; Monteiro, 2014).

A CCA é obtida pelo processo simples de combustão e pelo tratamento físico da mesma. O tratamento físico da cinza de casca de arroz diz respeito a moagem, no qual pode ser realizado através do moinho de bolas, vi seca (obtém-se diâmetros médios, variando de 7 a 8  $\mu\text{m}$ ) ou ainda via úmida, obtendo diâmetros menores. Santos (1997), afirma que o tempo de moagem influencia a área superficial do material, visto que a cinza de casca de arroz produzida pelo processo de queima, possui seu tempo de moagem ótimo para atingir maior efeito pozolânico da CCA.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a composição química média da casca in-natura em base anidra é de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica (dióxido de silício  $\text{SiO}_2$ ), sendo que a lignina e a celulose podem ser removidas através da combustão. Uma vez que ocorre o processo de queima controlada, a CCA pode apresentar como maior componente químico, o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), variando entre 74 a 97%. Portanto, de acordo com os autores, é necessário realizar o controle da temperatura na combustão da casca, da qual se obtém sílica, em um estado amorfo e micro poroso, altamente reativa, uma vez que a temperatura de queima seja mantida entre uma faixa de 500°C e 800°C.

De acordo com Prudêncio Jr. *et al.*, (2003), a incorporação de resíduos ao concreto, tais como a CCA, pode ser uma importante forma de conduzi-la a uma finalidade nobre, ambientalmente correta, tornando-se uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos poluentes.

Silva *et al.*, (2007) afirmam que as características da CCA podem variar bastante, dependendo do processo de queima ao qual a casca é submetida. Quando produzida a partir de queima controlada com temperatura a partir de 600 °C, a CCA possui, em sua morfologia, a presença de sílica no seu estado amorfo, a qual por sua vez, promove maior reatividade com o cimento e a cal (Nair *et al.*, 2008).

A utilização da CCA como material pozolânico produz efeitos benéficos em concretos e argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Em se tratando de concreto fresco, a adição da CCA, em pequenas quantidades, proporciona ao concreto maior estabilidade

e trabalhabilidade, devido à sua elevada superfície específica e a forma das suas partículas, reduzindo a tendência à segregação e à exsudação, do material. Entretanto, a grande absorção da água da CCA pode diminuir a trabalhabilidade, se um elevado teor de CCA for utilizado, a menos que um aditivo superplastificante seja empregado na mistura (Kuntz, 2006).

A cinza de casca de arroz, por ter alta superfície específica, tem maior consumo de água que outros materiais. Sabendo que a relação água/cimento é o fator mais importante na permeabilidade de concretos, a adição deste resíduo diminui o teor de água livre, produzindo um refinamento dos poros da estrutura. (Hwang e Chandra, 1996).

### **3. Materiais e Métodos**

#### **3.1. Materiais**

O cimento utilizado para a fabricação do concreto e confecção dos corpos de prova foi o CP V- ARI - RS (cimento Portland de alta resistência inicial), cuja a massa específica conforme o fabricante é de 3,05g/cm<sup>3</sup>.

Os agregados miúdos utilizados na mistura do concreto correspondem a dois tipos de areia, sendo a areia natural lavada e areia artificial. O diâmetro máximo característico da areia artificial e da areia natural é de 4,75 mm. O módulo de finura da areia artificial é 2,4 e o da areia natural é 2,1. A massa específica destes materiais foram de 2,72g/cm<sup>3</sup> (areia natural lavada) e 2,71g/cm<sup>3</sup> (areia artificial).

Com relação aos agregados graúdos, as britas utilizadas foram a brita 0 e a brita I. O diâmetro máximo característico da brita 0 é de 9,5 mm e o da brita I é de 19,0mm. O módulo de finura da brita 9,5 mm é de 0,8 e o da brita 19,0 mm é 2,1, respectivamente. A massa específica para ambos os materiais é de 2,64 g/cm<sup>3</sup>.

O aditivo utilizado foi o aditivo plastificante Erca Group PlastoFluid RMX 179. De acordo com dados disponibilizados pela empresa fabricante do aditivo, a massa específica do mesmo está no intervalo de 1,060 a 1,100 g/cm<sup>3</sup>.

A cinza de casca de arroz utilizada para a realização dos ensaios não possuía controle de queima. Uma vez que, o material adquirido, por sua vez, é destinado para fins de jardinagem (marca Terra Forte), sendo realizado um refino da amostra através de vibração em peneiras de classificação Mesh 30# (aberturas de 0,595 mm), com vibração mecânica.

#### **3.2. Método**

Para a fundamentação desta pesquisa foram realizadas as substituições em massa de

parcela do cimento por CCA, com proporções diferentes para fins de comparação de resultados. Foram moldados corpos de prova utilizando um traço controle de resistência característica de 30 MPa. A primeira mistura foi realizada sem a utilização de adição mineral, e os corpos de prova foram denominados de TCR<sub>ef</sub>. A segunda mistura foi realizada com substituição de 10% do cimento por CCA e os corpos de prova foram denominados de TCCA10. A terceira mistura foi realizada com substituição de 15% do cimento por CCA e os corpos de prova foram denominados de TCCA15. A quarta e última mistura foi realizada com substituição de 20% do cimento por CCA e os corpos de prova foram denominados de TCCA20.

### **3.2.1. Caracterização da CCA**

O processo de caracterização da CCA foi realizado de acordo com os estudos de Santos *et al.*, (2018), composto pelo ensaio de Difração de Raios X (DRX), para determinação da composição mineralógica da estrutura cristalina da CCA, onde permitiu avaliar e identificar se a cinza possui uma estrutura cristalina ou amorfa. O ensaio de perda ao fogo, em conformidade com a NBR NM 18 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012), realizado pelo método convencional I da norma, com o objetivo de descobrir a porcentagem de carbono contida na amostra de CCA. Para a determinação da massa específica da CCA, o ensaio realizado foi o de picnometria de gás hélio (He). A granulometria da CCA, foi analisada por meio do ensaio de Difração a Laser através de via úmida e com partículas dispersas em água com ultrassom.

Com o objetivo de obter a área superficial da CCA, o método B.E.T (Brunauer, Emmett e Teller) foi utilizado, para determinar a área superficial da cinza e foi realizado por um processo que utiliza o princípio da adsorção de partículas de nitrogênio. O recurso de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em conjunto com as técnicas de espectrometria de energia dispersiva (EDS), foi utilizado para investigar, por meio de análise visual, a estrutura e a geometria da CCA.

### **3.2.2. Caracterização do concreto**

O procedimento para moldagem e cura de corpos de prova foi realizado de acordo com as prescrições da NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015). Entretanto, o método de mistura utilizado foi o Método da Mistura Dupla, com base nos estudos de Salles (2018) e Gomes (2018).

A análise do concreto em estado fresco (trabalhabilidade) foi executada em todas as

misturas através do abatimento do tronco de cone. O método utilizado para a determinação do abatimento foi o Slump Test, normatizado pela NBR NM 67 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998).

Para a determinação da resistência à compressão do concreto em seu estado endurecido, tomou-se como referência a norma NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), que se aplica a corpos de prova cilíndricos. A Tabela 1 apresenta o resumo da quantidade de corpos de prova estabelecidos para cada ensaio respeitando as idades para realização dos processos.

Tabela 1 - Quantidade de corpos de prova estabelecidos para cada ensaio

Ensaio	Idades (dias)	Nomenclatura dos Traços			
		TCTRef	TCCA10	TCCA15	TCCA20
Resistência à compressão	7, 28 e 56	9	9	9	9
Absorção de água	28 e 56	6	6	6	6

Fonte: os autores (2019).

A avaliação indicadora de durabilidade foi realizada através do ensaio de absorção de água por imersão, conforme NBR 9778 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009), consistiu-se na absorção da água por imersão em corpos de prova de concreto, em que para este estudo foram realizados três corpos de prova cilíndricos para cada traço estudado e para cada idade ensaiada (ver Tabela 1).

## 4. Resultados experimentais e discussão

### 4.1 Caracterização da cinza de casca de arroz

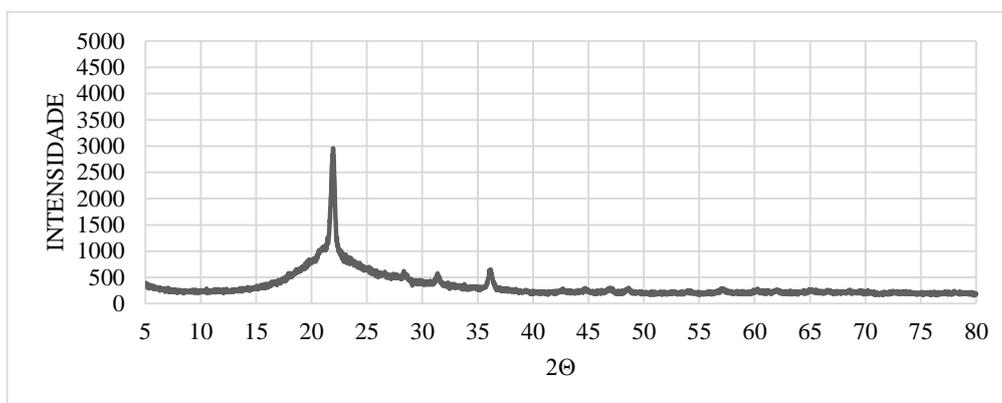
O ensaio de Difração de Raio – X foi realizado para a determinação da composição mineralógica do material em estudo. O pico definido no espectro ocorreu entre os ângulos de 20° e 25° onde mostra a presença de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) ou sílica cristalina sob a forma de cristobalita, conforme Figura 1. Este resultado implica que existe baixa reatividade da cinza devido ao tamanho dos seus finos, fato este que pode ser corroborado através dos estudos de Batista (2016), no qual afirma que a reatividade da CCA é favorecida diminuindo a finura desse material. Outros estudos apontam que a atividade pozolânica da cinza é caracterizada pela sílica amorfa (reativa), presente em misturas com cimento ou cal.

Neste sentido, para a amostra de cinza estudada, verifica-se a presença de sílica em estado cristalino com baixa amorfização (estrutura pouco amórfica), sendo caracterizada como pouco reativa, podendo comprometer dessa forma, a sua utilização como material pozolânico.

Autores como Cordeiro (2006) e Collatto *et al.*, (2011), salientam que para a obtenção

de sílica em estado amorfo, as temperaturas de queima da CCA devem chegar em até 800°C, considerando assim, um processo satisfatório.

Figura 1 - Comportamento do ensaio DRX para as amostra de CCA



Fonte: as autoras (2018).

O ensaio de perda ao fogo, conforme NBR NM 18 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012), apresentou resultado de perda de massa de carbono de 16%. Esse valor sugere que a CCA utilizada tem um elevado teor de carbono em sua composição, encontrando-se acima do limite da classificação de materiais pozolânicos da norma NBR 12653 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014), que é de 10% (tipo N) para este ensaio.

A determinação da densidade da CCA foi realizada através dos picnômetros de gás hélio, apresentando resultado de densidade de 2,078g/cm<sup>3</sup>.

Para a amostra de cinza de casca de arroz, devido ao tamanho das partículas, a caracterização foi feita através de análise da distribuição granulometria por difração de laser. A Tabela 2 traz os resultados analisados ao qual a distribuição de tamanho de grãos do material é variada.

Tabela 2 - Valores de granulometria analisados durante o ensaio

Diâmetro analisado em (%)	Granulometria (µm)
10	18,42
50	54,55
90	74,99
Média	52,77

Fonte: os autores (2019).

Percebe-se, através desta análise, que o processo de moagem da cinza não foi satisfatório, pois a grande maioria dos grãos se enquadra no tamanho de 54,55 a 75µm. Assim sendo, pode-se dizer que a granulometria da CCA é relativamente elevada.

O método B.E.T. foi utilizado para avaliar a área superficial da cinza da casca de arroz, obtida a partir do volume nitrogênio adsorvido. Neste ensaio, obteve-se um valor de

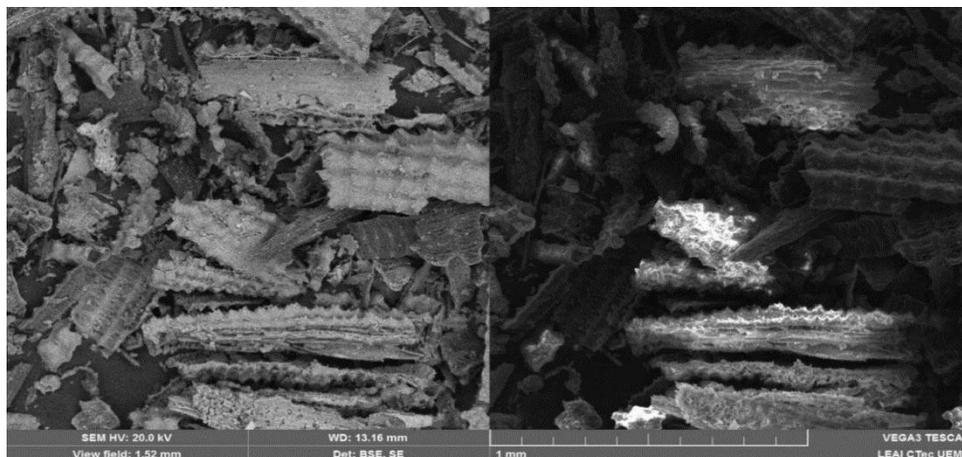
60,062 m<sup>2</sup>/g, ou seja, 60.062 m<sup>2</sup>/kg para a amostra utilizada, que representa 126 vezes maior que a do cimento CPV – ARI – RS utilizado nesta pesquisa, cujo resultado é de 475 m<sup>2</sup>/kg. O valor da CCA é considerado dentro dos limites estudados por autores, como Mehta e Monteiro (2014) aos quais afirmam que os valores das áreas específicas das CCA variam de acordo com a temperatura no processo da queima. E para temperaturas de 800°C, a sílica contida na cinza é do tipo amorfa, com forma angular e elevada superfície específica (de 40 a 110 m<sup>2</sup>/g).

De acordo com Tiboni (2007) e Batista (2016), a superfície específica da CCA tem grande influência na atividade pozolânica em virtude de estar diretamente correlacionada à finura do material, afetando o grau de atividade pozolânica. Esse comportamento é influenciado pela distribuição, forma e rugosidade superficial das partículas e pela distribuição dos poros existentes que, neste caso, pode ser comprovado através de imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Tiboni (2007) afirma que partículas lamelares e alongadas apresentam maior área superficial, logo o material necessita de uma maior demanda de água na mistura do concreto. A autora afirma que, um processo de queima adequado, pode ocasionar um efeito de sinterização incipiente, aglomerando as partículas mais próximas umas das outras, reduzindo assim a porosidade, bem como a quantidade de carbono residual, na qual possui alta área superficial.

A análise MEV foi realizada a fim de verificar através de uma análise visual, a estrutura geométrica da cinza de casca de arroz. A Figura 2, retrata a morfologia da CCA estudada nesta pesquisa. Observa-se que a moagem e a queima realizada pelo fabricante não foram satisfatórias uma vez que as partículas permanecem angulares, com granulometria relativamente grossa apresentando uma estrutura de formato lamelar e rugoso.

Figura 2 – Morfologia da amostra de CCA da marca Terra Forte analisada por MEV



Fonte: LEAI CTec UEMG (2018).

Através da espectrometria qualitativa, identificou-se a concentração aparente de elementos químicos presentes na amostra, sendo carbono e oxigênio os principais. De acordo com a análise EDS, analisado em alguns espectros da amostra, a presença de silício (19,47%) e oxigênio (43,8%) que combinados, formam o óxido de silício apresentando teor de 63,27%. Estes resultados corroboram que o processo de queima da cinza não foi controlado e realizado dentro das temperaturas ideais.

#### **4.2. Análise do concreto nos estados fresco e endurecido**

Durante a fase da concretagem foram moldados os corpos de prova para o ensaio de compressão e absorção e os resultados de abatimento foram imparciais devido ao emprego do aditivo plastificante citado nesta pesquisa. Notou-se que o acréscimo da CCA na mistura proporcionou ao concreto uma redução de sua trabalhabilidade em seu estado fresco.

A substituição de parte do cimento pela CCA fez com que a relação água/cimento fosse diminuída, pela alta hidratação inicial da cinza, devido ao fato de que cinzas de base orgânica apresentam partículas com superfície porosa e irregular. Isto fez com que aumentasse a demanda de água em misturas com cimento para os traços TCCA15 e TCCA20. O traço TCCA10 apresentou Slump de 10 mm. Assim sendo, o aditivo plastificante utilizado foi incapaz de gerar a mesma trabalhabilidade que gerou no traço referência, que apresentou Slump de 80 mm. De acordo com Tiboni (2007), essas irregularidades são mais comuns em cinzas com alto teor de carbono, fato pelo qual a mistura apresenta trabalhabilidade menor.

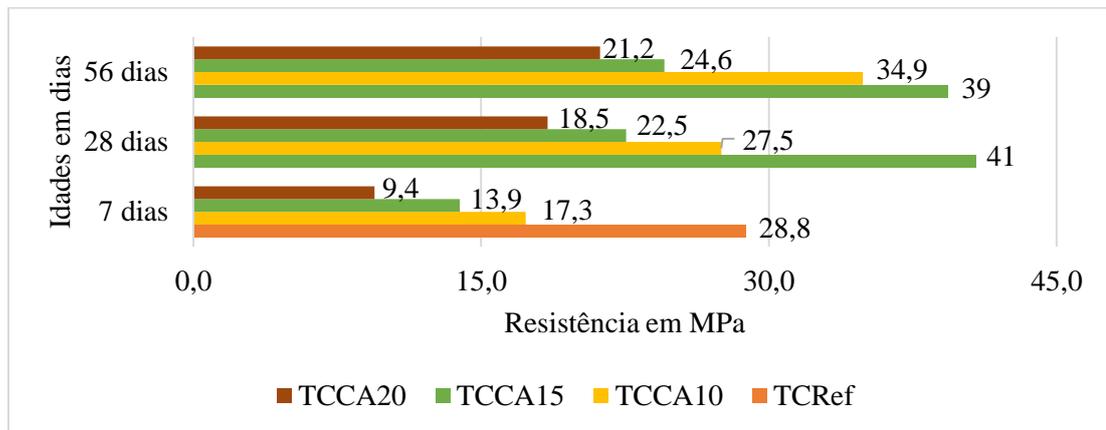
Para melhorar a consistência do concreto, recomenda-se realizar a troca do aditivo plastificante por aditivo superplastificante. É necessário também reduzir a área superficial específica da cinza fazendo com que sua superfície de contato seja maior. Este processo é abordado por Santos (1997), no qual salienta que esta redução pode ser realizada através da moagem do material em um moinho tipo bolas. Em relação ao ganho de trabalhabilidade, Kuntz (2006) afirma que é necessário o aumento do teor de água em misturas contendo CCA em relação ao correspondente traço convencional.

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados nas idades de 7, 28 e 56 dias. Os resultados obtidos mostram que, nas idades de 7, 28 e 56 dias, o traço TCRref possui valores superiores aos traços com a incorporação da CCA. Este fato ocorreu pelo efeito do cimento CPV – ARI – RS, possuir capacidade de atingir altas resistências iniciais.

O gráfico da Figura 3 representa o comportamento dos valores de resistência à

compressão nas determinadas idades.

Figura 3 – Resultados da resistência média à compressão do concreto



Fonte: os autores (2019).

Observando os resultados da Figura 3, pode-se dizer que aos 7 dias, o traço TCCRef adquiriu o valor de resistência à compressão de 28,8 MPa, próximo à resistência característica adotada, que é de 30 MPa. Já a resistência à compressão dos traços com a cinza, o ganho de resistência ocorreu de forma mais lenta, mantendo valores abaixo da resistência característica adotada. Entretanto, devido a uma reação lenta, não houve o mesmo efeito de ganho de resistência com os traços da CCA, na idade de 7 dias.

Aos 28 dias, o traço TCCRef apresentou um ganho de 41,6% de resistência em relação aos 7 dias de cura, com um valor de 41 MPa. O traço TCCA10 apresentou resultado de 27,5 MPa, ou seja, 8,8% abaixo da resistência característica adotada (de 30 MPa). O ganho de resistência deste traço em relação aos 7 dias de cura foi de 58,85%. Os traços TCCA15 e TCCA20 obtiveram valores de 25% e 38,33% também menores que a resistência de referência (de 30 MPa) nesta idade, respectivamente. O ganho de resistência de 7 para 28 dias de cura destes traços foi de 62,34% para TCCA15 apresentando resistência de 22,5 MPa e 96,8% para TCCA20 apresentando resistência de 18,5 MPa.

O traço com melhor resultado de ganho de resistência foi o de 10% de substituição de cimento em peso por CCA, apresentando uma de resistência de 34,9 MPa aos 56 dias, o que implica um aumento de 16,33% do valor da resistência referência (de 30 MPa) e 26,77% maior em relação ao traço TCCA10 aos 28 dias. Este fato caracteriza o percentual ótimo de substituição do cimento pela CCA na mistura. Para os traços TCCA15 e TCCA20, o aumento foi de 9,11% e 14,78% em relação aos 28 dias, respectivamente. O traço TCCRef, aos 56 dias, apresentou uma queda de 3,66% em relação aos 28 dias de cura.

De acordo com a Figura 3, aos 56 dias, houve crescimento da resistência do traço padrão,

ou seja, ocorreu uma estabilização do ganho de resistência. Porém, quando se analisa as barras de resistência em relação ao tempo para os traços com CCA, em nenhum caso as barras mostram tendência à estabilidade, visto que o traço de 10% de substituição apresentou uma maior tendência de crescimento.

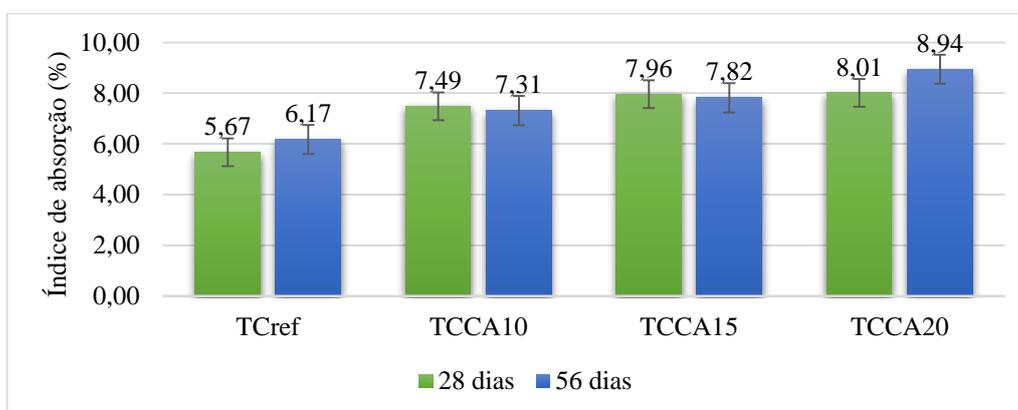
O ganho de resistência com o passar das idades, mesmo que lento, foi considerável, e se explica pela evolução das reações pozolânicas na mistura CCA/cimento, que normalmente se acentuam nas idades superiores a 28 dias. Este fato pode ser comprovado através dos estudos de Santos (1997) que salienta sobre a qualidade do beneficiamento da cinza, principalmente em relação a sua moagem e processo de queima.

Em relação a resistência à compressão, o ganho lento pode ser comprovado nesta pesquisa, uma vez que através dos estudos de Hwang e Chandra (1996), Mehta e Monteiro (2014), Fapohunda *et al.* (2016) e Real (2018), onde afirmam que as formas cristalinas e amorfas de sílica são obtidas através da temperatura e duração da queima da casca. As formas cristalinas e amorfas da sílica de diferentes propriedades são importantes para produzir cinzas com corretas especificações para utilização no concreto. Os autores ainda afirmam que a alta estrutura cristalina na composição do material, resulta em baixa reatividade.

De acordo com os estudos de Fapohunda *et al.*, (2016), bem como os resultados do ensaio de DRX para esta pesquisa, pode-se afirmar que a cinza analisada possui grande cristalinidade e pouca amorfização em sua estrutura.

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão, na idade de 28 e 56 dias, conforme gráfico da Figura 4. Para a realização do ensaio, seguiu-se o preceito da norma NBR 9778 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) de forma simplificada.

Figura 4 - Resultados para o ensaio de Absorção por Imersão



Fonte: os autores (2019).

Comparados aos estudos de Real (2018), a utilização de uma CCA sem queima controlada no concreto, fez com que as taxas de absorção de água do material aumentassem

conforme aumento da substituição do cimento pela cinza na idade 28 dias. O traço que apresentou a menor absorção foi o TCRref com 5,67% e o traço que apresentou maior porcentagem de absorção aos 28 dias foi o TCCA20 com 8,01%. Ressalta-se que, na idade de 28 dias, o concreto com a adição da CCA em 20% apresentou uma estrutura porosa e higroscópica, pois este foi o traço que se manteve com a pior trabalhabilidade.

A incorporação da cinza na mistura mostrou valores superiores de absorção de água, comparados ao traço referência. Isto comprova principalmente que, na idade de 28 dias (primeiro ensaio), as partículas da CCA tornaram o concreto mais poroso, permitindo então maior absorção de água em sua estrutura.

Aos 56 dias de cura, a utilização da CCA no concreto fez com que as taxas de absorção de água do material diminuíssem para os traços TCCA10 e TCCA15, de tal modo que o traço que apresentou menor absorção foi o TCCA10 com 7,31%. A redução das taxas de absorção em relação aos 28 dias de cura para os traços com 10 e 15% de CCA foram de 2,46% e 1,79% respectivamente, o que implicou em uma redução lenta na absorção nestas duas idades. Já os traços TCRref e TCCA20 permaneceram com aumento na absorção de água conforme ilustra o Gráfico da Figura 25. O aumento da absorção para os traços referência e com 20% da cinza comparados aos 28 dias de cura foram de 8,81% e 11,61% respectivamente.

Para justificar os resultados apresentados de absorção alguns estudos foram analisados, como os de Givi *et al.* (2010), Van *et al.* (2014) e Real (2018) que salientam que, nos concretos em diferentes idades, a constatação de uma redução significativa na porcentagem de absorção de água nos concretos com CCA. No entanto, os autores concluíram que o diâmetro médio da cinza possui influência significativa no resultado, pois cinzas com menor diâmetro médio tendem a apresentar resultados de menor absorção somente em idades mais avançadas (em torno de 90 dias), e atribuiu este fato a menores produtos de hidratação quando a reação pozolânica é pequena em idades precoces.

Portanto, os valores obtidos nesta pesquisa apresentam-se de maneira semelhante aos encontrados por Givi *et al.* (2010), onde o efeito de preenchimento demonstrou-se benéfico e significativo apenas nos traços com 10 e 15% de substituição, pois apresentaram valores de absorção menores que o concreto referência e com 20% da cinza.

## 5. Conclusão

A ideia desta pesquisa foi avaliar a cinza de casca de arroz (CCA) de queima não controlada da marca Terra Forte como um resíduo benéfico a ser utilizado em substituição parcial do cimento na mistura do concreto, e criar razões sustentáveis para sua utilização no

ramo da construção civil. Os ensaios realizados para a caracterização físico-química da CCA mostraram que o material apresenta poucas propriedades e características adequadas para a sua utilização como adição mineral em concretos. Apesar do elevado teor de carbono em sua constituição, a CCA apresenta alta concentração de SiO<sub>2</sub> (dióxido de silício), porém sua estrutura é composta por grande parte cristalina e pouca amorfa, o que prejudica a atividade pozolânica do material.

Para a CCA estudada, o valor de sua área superficial específica foi de 60.062 m<sup>2</sup>/kg, no que caracteriza que sua estrutura é 126 vezes maior que a do cimento CPV – ARI – RS utilizado, cujo resultado apresenta um valor de 475 m<sup>2</sup>/kg. Neste sentido, o efeito pozolânico não apresentou um desempenho totalmente satisfatório, devido à alta área de superfície específica e sua alta porosidade.

Ponderando os resultados obtidos, pode-se dizer que, devido à maior granulometria e a maior área superficial da CCA comparada com o cimento, o traço de concreto com substituição em massa de parte do cimento por CCA perdeu trabalhabilidade, principalmente nos traços TCCA15 e TCCA20, aos quais possuem maior concentração da cinza na mistura e quando comparado com um traço referência (TCRef), no qual evidenciou a importância da utilização de aditivos superplastificantes.

A análise final da pesquisa foi comparar os resultados de resistência à compressão e absorção de água na estrutura do concreto. Dentro das datas avaliadas, a incorporação da CCA mostrou-se satisfatória no traço estudado TCCA10 com 10% da cinza na mistura, visto que se atingiu resistência próxima a resistência característica adotada na pesquisa (30 MPa) na idade de 28 dias e aos 56 dias, o mesmo traço atingiu a resistência característica.

Para as idades estudadas, os resultados percentuais de resistência a compressão com 15 e 20% de substituição apresentaram ganho lento, ao qual não se atingiu a resistência característica. Portanto, para esta pesquisa, torna-se inviável a utilização deste concreto como concreto estrutural convencional, uma vez que o ganho de resistência do concreto com a CCA se adquire com o mais tardar das idades. Porém, Mehta e Monteiro (2014) e outros autores, corroboram em seus estudos que as reações pozolânicas ocorrem em taxas mais lentas em relação as reações normais de hidratação do cimento o que implica num ganho de resistência lento.

Em relação a absorção, o beneficiamento da CCA evidenciou nos resultados que não ocorreu de forma satisfatória, uma vez que a absorção de água por imersão aumentou correlacionado com o percentual de substituição da cinza. Entretanto, na idade de 56 dias, houve uma redução da absorção nos traços de 10 e 15%, na qual provavelmente ao decorrer das idades,

tende a diminuir. Esta redução de absorção de água, se dá pelo efeito pozolânico e de enchimento da CCA, que de acordo com Givi *et al.*, (2010), embora seja baixo, é notório sua atribuição nos resultados.

Portanto, a viabilidade estrutural do concreto submetido a adição de percentuais de cinza de casca de arroz sem controle de queima em sua mistura, se dá mediante a substituição de 10% de cimento por CCA. Levando em consideração a propriedade mecânica e o indicador de durabilidade, esta concentração se apresenta como ótima para o desenvolvimento deste concreto uma vez que ao longo das idades estudadas, o traço TCRef adquiriu resistência à compressão de 10,2 MPa e o traço TCCA10 adquiriu 17,6 MPa. Desta forma, o ganho de resistência de forma geral foi de 72,55%, e uma redução de absorção de água em 2,46%.

Contudo, para a melhoria dos resultados, é necessário que a CCA apresente um melhor desempenho de propriedade pozolânica, que pode ser adquirida a partir do processo de cominuição da cinza (redução de seus finos) em moinho de bolas controlando o tempo de moagem conforme afirma Santos (1997). Batista (2016) afirma que, a fim de aproximar a finura da CCA à do cimento, é necessário reduzir a área superficial específica da cinza fazendo com que sua superfície de contato seja maior de forma a atingir as características ideais para utilização da CCA

## Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018) ABNT NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015) ABNT NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014) ABNT NBR 12653: Materiais Pozolanicos – Especificação. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012) ABNT NBR NM 18: 2012 - Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998) ABNT NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro/RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992) ABNT NBR 12652: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis – método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ.

Batista, A. D. B. (2016). Efeitos de resíduos agroindustriais na resistência mecânica, porosidade e permeabilidade de argamassas e concretos. Dissertação de mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Barbosa, M. B. (2006). Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, SP, Brasil.

Benhelal, E; Zahedi, G., Shamsaei, E., Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*. 51. Doi: <http://dx.doi.org/142-161>. 10.1016/j.jclepro.2012.10.049.

Bezerra, I. M. T., Souza, J., Carvalho, J. B. Q. & Neves, G. A. (2011, June). Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 15, n. 6, p. 639-645. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000600015>.

Collatto, D., Vicili, F. A., Arndt, J. A. & Jesus, R. T. (2011). Utilização da cinza da casca de arroz na produção de concreto usinado em central. 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, SC, Brasil.

Cordeiro, G. C. (2006). Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. Tese de doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Fapohunda, C., Akinbile B. & Shittu, A. (2017). Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 6, n.2, p. 675-692.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbe.2017.07.004>.

FONSECA, G. C. (2010). Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. A. A. & Salleh, M. A. M. (2010). Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 11, p. 2145-2150.

Gomes, C. L. (2018). Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduo de construção e demolição e cinza de casca de arroz. Dissertação de mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Hwang, C. L. & CHANDRA, S. (1996). 4 - The use of rice husk ash in concrete. *Waste Materials Used in Concrete Manufacturing*. Elsevier. Westwood, NJ: William Andrew Publishing. p.184-234. ISBN 978-0-8155-1393-3.

Kuntz, L. M. (2006). The “Greening” of the Concrete Industry: Factors contributing to Sustainable Concrete. Thesis (Master of Engineering). Massachusetts Technology Institute. Cambridge, 41p.

Marques, A. C., Ricci, E. C., Trigo, A. P. M., Akasaki, J. L. (2006). Resistência mecânica do concreto adicionado de borracha de pneu submetido à elevada temperatura. *Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural*, Campinas, SP, Brasil.

Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M. (2014). **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais (2ª ed)**. IBRACON.

Meyer, S. T. (2014). O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 10, p. 99-110.

Moraes, R. C., Isaia, G. C. & Gastaldini, A. L. G. (2000). Efeitos das cinzas volantes, cinza de casca de arroz e filler calcário sobre a resistência mecânica do concreto. 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais do 42º Congresso do IBRACON, Fortaleza, CE, Brasil.

Nair, D. G., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K. & Kgens, A. P. M. (2008). A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. *Cement and Concrete Research*, v. 38, n. 6, p. 861-869.

Prudêncio Jr., L. R., Santos, S. & Dafico, D. A. (2003). Utilização de resíduos na construção habitacional cinza de casca de arroz. *Coletânea HABITARE*. v.4(8), p.240–261.

REAL, R. P. (2018). Avaliação da utilização da cinza de casca de arroz como adição mineral em concreto de alto desempenho. Dissertação de mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Recena, F. A. P. & Serra, G. G. (2002). Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland (1ª ed) Porto Alegre: EdiPucrs.

Salles, P. V. (2018). Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduos de construção e demolição. Dissertação de mestrado Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Santos, S. F., Moreira, L. A., Gomes, C. L., Oliveira, R. M., Salles, P. V. & Junior Silva, L. A. (2019). Caracterização da cinza de casca de arroz como adição mineral ao concreto. *Research, Society and Development*, v. 8, n. X, eXX. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i3.727>.

Santos, S. (1997) Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Silva, F. G., Liborio J. & Benedicto L. (2003). Análise das propriedades mecânicas de concretos com agregados de  $D_{m\acute{a}x} < 6,3$  mm e com diferentes tipos e teores de sílica. 43º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais do 43º Congresso do IBRACON, Vitória, ES, Brasil.

Silva, E. J., Tashima, M. M. & Akasaki, J. L. (2007). Estudo de reações expansivas em argamassas de cimento Portland com cinza de casca de arroz (CCA). *Holos Environment*, v. 7, n. 1, p. 72-86.

TIBONI, R. (2007). A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland. 2007. Dissertação de mestrado em estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. doi:10.11606/D.18.2007.tde-19102007-084553.

Van, V., Röbber, C., Bui, D. & Ludwig, H. (2014). Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 53, n. 12, p. 270-278.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Sâmara Ferreira dos Santos – 35%

Luana de Almeida Moreira – 35%

Ladir Antônio da Silva Junior – 30%