ARTIGO CIENTÍFICO

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO CONCRETO COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA COMO SUBSTITUTA PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CONCRETE WITH CARBONIZED RICE HULK AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR PORTLAND CEMENT

Carlos Arthur de Oliveira Rosa[1]; Thuany Espirito Santo de Lima[2]

RESUMO

A indústria cimentícia é uma das principais fontes de poluição ambiental devido à alta emissão de dióxido de carbono (CO2) durante a produção do cimento Portland, contribuindo para as mudanças climáticas. Além disso, o agronegócio no Brasil gera uma grande quantidade de resíduos, como a casca de arroz, que são normalmente descartados de maneira errada. Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar parâmetros tecnológicos do concreto com substituição parcial do cimento Portland pela casca de arroz carbonizada (CAC), buscando reduzir a poluição e promover a sustentabilidade na construção civil, ao mesmo tempo em que se busca economizar custos. Com isso, o objetivo principal deste estudo é investigar o desempenho do concreto com diferentes níveis de substituição de cimento por CAC (5%, 7% e 10%). Para isso, realizou-se um experimento prático, triturando a CAC para garantir uma mistura homogênea e utilizando um aditivo plastificante para melhorar a trabalhabilidade do concreto. Foram moldados oito corpos de prova para cada traço, totalizando 32 amostras. Foram executados diversos ensaios, incluindo o slump test para avaliar a consistência, a resistência à compressão axial para verificar a capacidade de suportar cargas verticais, a resistência à compressão diametral para analisar a resistência à tração e ensaios de capilaridade para avaliar a durabilidade e a absorção de água. Os resultados obtidos mostram que a substituição do cimento por CAC afeta pouco os parâmetros tecnológicos do concreto, tendo uma trabalhabilidade e absorção de água dentro do padrão esperado para utilização em várias aplicações do concreto na construção civil. Apesar da perda de resistência nos traços com CAC, manteve-se níveis aceitáveis com o traço com 7% de substituição mostrando resultados melhores entre os traços com CAC. Assim, este estudo busca contribuir para a redução da emissão de carbono da indústria da construção civil, promovendo o uso de resíduos agrícolas como alternativa sustentável e econômica na produção de concreto. Os resultados obtidos podem ter implicações importantes na adoção de práticas mais sustentáveis no setor da construção, beneficiando tanto o meio ambiente quanto a economia.

Palavras-chave: Concreto Sustentável; Casca de arroz carbonizada; Substituição parcial de cimento.

ABSTRACT

The cement industry is one of the main sources of environmental pollution due to the high emission of carbon dioxide (CO2) during the production of Portland cement, contributing to climate change. Furthermore, agribusiness in Brazil generates a large amount of waste, such as rice husks, which are normally discarded incorrectly. In this context, the present work aims to evaluate technological parameters of concrete with partial replacement of Portland cement by carbonized rice husk (CAC), seeking to reduce pollution and promote sustainability in construction, while seeking to save costs. Therefore, the main objective of this study is to investigate the performance of concrete with different levels of cement replacement by CAC (5%, 7% and 10%). To achieve this, a practical experiment was carried out, crushing the CAC to ensure a homogeneous mixture and using a plasticizing additive to improve the workability of the concrete. Eight specimens were molded for each trait, totaling 32 samples. Several tests were carried out, including the slump test to evaluate consistency, axial compression strength to verify the ability to withstand vertical loads, diametral compression strength to analyze tensile strength and capillarity tests to evaluate durability and absorption. of water. The results obtained show that replacing cement with CAC has little effect on the technological parameters of concrete, with workability and water absorption within the expected standard for use in various concrete applications in civil construction. Despite the loss of resistance in the traits with CAC, acceptable levels were maintained with the trait with 7% replacement, showing better results among the traits with CAC. Therefore, this study seeks to contribute to reducing carbon emissions from the construction industry, promoting the use of agricultural waste as a sustainable and economical alternative in concrete production. The results obtained may have important implications for the adoption of more sustainable practices in the construction sector, benefiting both the environment and the economy.

Keywords: Sustainable Concrete; Charred rice husk; Partial replacement of cement.

1 Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Serra dos Órgãos, UNIFESO, Teresópolis, RJ, Brasil

2 Doutora em Engenharia e Ciência de Materiais, docente do UNIFESO, Teresópolis, RJ, Brasil - thuanylima.es@gmail.com

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, historicamente, tem desempenhado um papel fundamental na nossa sociedade, proporcionando habitação, infraestrutura e espaços para atividades comerciais e industriais. No entanto, essa indústria também é conhecida por seu alto impacto ambiental, em grande parte devido à produção de cimento Portland, que é uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono (CO2), aproximadamente 8%, responsável pelo aquecimento global (CHATHAM HOUSE, 2018). Essas emissões estão ligadas à queima de combustíveis fósseis para aquecimento dos fornos e à liberação de CO2 durante a transformação do calcário em clínquer, um dos principais componentes do cimento Portland.

Em paralelo, o setor agrícola no Brasil gera uma quantidade significativa de resíduos, entre eles a casca de arroz, que frequentemente são descartados de maneira inadequada, contribuindo para problemas ambientais locais (BEZERRA *et al*., 2011).

Nesse contexto, surge a necessidade de buscar alternativas que tornem a construção civil mais sustentável, reduzindo sua pegada de CO2 e minimizando o desperdício de resíduos agrícolas. Este trabalho tem como objetivo central a avaliação de parâmetros tecnológicos do concreto com CAC como substituta parcial do cimento Portland, visando a redução da poluição ambiental e a promoção da sustentabilidade no setor da construção.

Este estudo busca contribuir para a construção de um futuro mais sustentável, onde a utilização de resíduos agrícolas na produção de concreto não apenas reduz a poluição, mas também proporciona uma solução econômica e ambientalmente responsável para a indústria da construção civil. A pesquisa e os resultados obtidos podem ter implicações significativas na adoção de práticas mais sustentáveis neste importante setor econômico.

Barbosa *et al*. (2022) discute a importância da redução das emissões de CO2 na indústria da construção e explora a utilização de resíduos agrícolas (Cinza do Eucalipto) na produção de concreto. Jung (2022) estuda o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland. Estes, entre dezenas de outros artigos publicados, estudam e discutem sobre alternativas sustentáveis como: Cinzas de Biomassa; Cascas de frutos; Lama vermelha da indústria de alumínio, entre outros, com o intuito de reduzir a pegada de carbono na construção civil.

Vários estudos acadêmicos exploraram a viabilidade da casca de arroz como substituto do cimento Portland. Trindade (2011) apresentou resultados promissores, sugerindo que a substituição parcial do cimento com casca de arroz carbonizada poderia mitigar problemas como a reação álcali-sílica e a penetração de cloretos. No entanto, o autor também destacou a importância de encontrar o equilíbrio certo de substituição para manter a resistência do concreto. Ludwing (2014) concentrou-se na adição de cinza de casca de arroz em traços de concreto. O autor encontrou resultados favoráveis com a substituição de apenas 3% do cimento, destacando a importância de não substituir quantidades excessivas para manter a resistência do concreto. Führ (2013) investigou a adição de cinza de casca de arroz em concreto autoadensável. Novamente, o estudo destacou a importância de não substituir grandes quantidades de cimento, com o traço de referência apresentando o melhor desempenho nos ensaios.

O uso de aditivos plastificantes em concreto tem sido uma prática comum para melhorar a trabalhabilidade e a resistência do material (PEREIRA *et al*., 2015). Sites de empresas de construção, como a Sika Brasil (2024), fornecem informações sobre aditivos plastificantes, como o "Sika Concreto Forte", que é projetado para melhorar diversas propriedades do concreto.

Para obter casca de arroz carbonizada, a gestão adequada dos resíduos agrícolas é fundamental. Este aspecto é abordado em relatórios e artigos de fontes relacionadas à agricultura e gestão de resíduos (BARBOSA *et al*., 2011; PEREIRA *et al*., 2015). Os resíduos agrícolas, como a casca de arroz, podem ser transformados em recursos valiosos quando tratados adequadamente. Isso envolve etapas como a coleta, a secagem, a carbonização e, no caso da casca de arroz, a trituração, para garantir a uniformidade do material (PEREIRA *et al*., 2015). A gestão eficaz dos resíduos agrícolas é fundamental para tornar viável a utilização desses materiais na produção de concreto e em outras aplicações, ao mesmo tempo em que se reduz o impacto ambiental da agricultura e da indústria da construção

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Em resumo, a literatura revisada destaca a importância de encontrar o equilíbrio certo na substituição do cimento Portland pela casca de arroz carbonizada, a fim de manter a resistência do concreto. Além disso, a utilização de aditivos plastificantes pode melhorar a trabalhabilidade e a homogeneidade do concreto. Este estudo se baseia nas descobertas dessas pesquisas anteriores e busca contribuir para o conhecimento sobre a produção de concreto sustentável e a gestão eficiente de resíduos agrícolas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A proposta deste estudo envolve a investigação de diferentes níveis de substituição do cimento por CAC, incluindo 5%, 7% e 10%, com a CAC previamente triturada para garantir uma mistura homogênea. Além disso, um aditivo plastificante foi utilizado a fim de melhorar a trabalhabilidade do concreto. O desempenho dos diferentes traços de concreto foi avaliado por meio de ensaios, como slump test para analisar a consistência, a resistência à compressão axial e diametral, bem como ensaios de capilaridade para avaliar a durabilidade do material.

2.1 Material

A metodologia adotada neste estudo se baseia em pesquisas acadêmicas anteriores que avaliaram a substituição parcial do cimento por casca de arroz em concreto. Estes estudos incluem o trabalho de Trindade (2011), que avaliou traços de concreto com 12,75%, 15% e 17% de substituição de cimento por cinza de casca de arroz e encontrou o traço de referência como o de melhor desempenho. Além disso, o estudo de Ludwing (2014) investigou traços com 3%, 5% e 7% de substituição, com o traço de 3% apresentando os melhores resultados nos ensaios. Da mesma forma, o estudo de Führ (2013) examinou traços com 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5% de substituição, com o traço de referência se destacando nos ensaios.

Com base nas conclusões desses estudos, foi decidido que as substituições de cimento por CAC de 5%, 7% e 10% seriam utilizadas neste trabalho, a fim de equilibrar a redução do impacto ambiental com a manutenção das propriedades do concreto.

Para melhorar a trabalhabilidade do concreto, foi escolhido o aditivo plastificante “Sika Concreto Forte”. De acordo com a ficha técnica do produto, o “Sika Concreto Forte” é um aditivo líquido plastificante e/ou redutor de água de pega normal para concreto, que permite trabalhar diversos tipos de concreto. Possui uma densidade de 1,06 ± 0,02 kg/l e um pH com valor de 6,0 ± 1,0. A dosagem recomendada do aditivo é de 1 litro para cada 50 kg de cimento, conforme especificado na ficha técnica mostrada na Tabela 1. Este aditivo foi escolhido com a intenção de aumentar a trabalhabilidade do concreto, reduzir a retração e a fissuração, bem como melhorar a homogeneidade do material.

Tabela 1: Dados do produto e dosagem para aplicação.

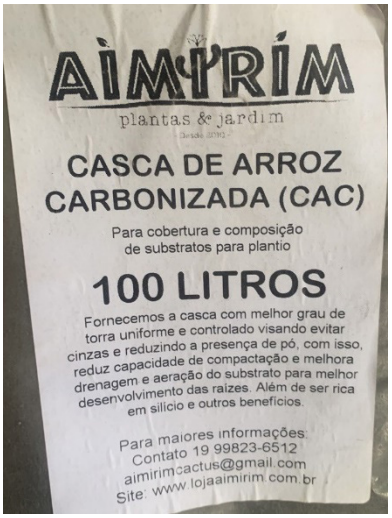
DADOS DO PRODUTO	
Base química	Sais sulfonados e carboidratos em meio aquoso
Embalagem	Saco 1 L Balde 18 L
Aspecto / Cor	Liquido marrom escuro
Prazo de validade	12 meses a partir da data de produção se estocado apropriadamente, nas embalagens originais e intactas.
Condições de estocagem	Armazenar em local seco em temperaturas entre +5°C e +35°C. Protegido da luz direta do sol e do gelo.
Densidade	1,06 ± 0,02 kg/ L
Valor do pH	6,0 ± 1,0
INFORMAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO	
Dosagem recomendada	1 L para cada saco de cimento 50kg.

Fonte: Ficha Técnica do produto

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

A casca de arroz carbonizada utilizada neste estudo, Figura 1, foi adquirida com granulometria padrão e torra industrial. De acordo com as informações fornecidas pelo fornecedor (Aimirim), a casca apresenta as seguintes características físico-químicas: densidade seca de 150 g/l, capacidade de retenção de água de 53,9%, capacidade de troca de cátions de 5,5 meq/dl, 0,7% de nitrogênio, 0,2% de fósforo e 0,32% de potássio. Para garantir a homogeneidade nos traços de concreto, a casca de arroz foi triturada em um liquidificador industrial e peneirada em peneira de grão fino (tipo fubá), como mostra a Figura 2.

Figura 1: Etiqueta da CAC adquirida Figura 2: Liquidificado utilizado na moagem.





Fonte: Autoria própria. Fonte: Autoria própria

O traço de referência foi calculado de acordo com o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), visando obter uma resistência de 25 MPa aos 28 dias de cura. O traço de referência consiste em uma parte de cimento, 1,676 partes de areia, 2,398 partes de brita 1 e 0,475 partes de água. Para a produção de 1 metro cúbico de concreto, seriam necessários 431,58 kg de cimento, 723,45 kg de areia, 1035 kg de brita, 205 litros de água e 8,6316 litros do aditivo plastificante, conforme Tabela 2 e Figura 3. Essas medidas foram convertidas para produção de traços correspondentes a 0,01647993 metros cúbicos de concreto, o que foi suficiente para a realização do slump test e a confecção dos 8 corpos de prova para cada traço, como visto na Tabela 3.

Tabela 2: Dosagem para 1m³ de concreto

TRAÇO	CIMENTO (kg/m³)	AREIA (kg/m³)	BRITA 1 (kg/m³)	ÁGUA (l/m³)	CCA (kg/m³)	ADITIVO (l/m³)
TR	431,58	723,45	1035	205	0	8,6316
5%	410,00	723,45	1035	205	21,58	8,6316
7%	401,37	723,45	1035	205	30,21	8,6316
10%	388,42	723,45	1035	205	43,16	8,6316

Fonte: Desenvolvido pelo autor

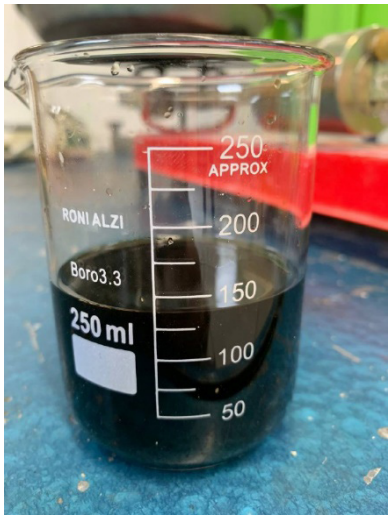
Tabela 3: Dosagem para 0,01647993m³ de concreto

TRAÇO	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRITA 1 (kg)	ÁGUA (lt)	CCA (kg)	ADITIVO (L)
TR	7,112408189	11,92240536	17,05672755	3,37838565	0	0,142248164
5%	6,75678778	11,92240536	17,05672755	3,37838565	0,355620409	0,142248164
7%	6,614539616	11,92240536	17,05672755	3,37838565	0,497868573	0,142248164
10%	6,40116737	11,92240536	17,05672755	3,37838565	0,711240819	0,142248164
Total	**26,88490296**	**47,68962143**	**68,2269102**	**13,5135426**	**1,564729802**	**0,568992655**

Fonte: Desenvolvido pelo autor

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Figura 3: Dosagem de aditivo utilizada e cada traço



Fonte: Autoria própria

2.2 Preparação das amostras

Antes de preparar os traços de referência e os traços com casca de arroz carbonizada (CAC), a betoneira foi previamente imprimada com um traço composto por 2,37 kg de cimento, 3,974 kg de areia, 5,685 kg de brita e 1,126 litro de água. Em seguida, os traços foram produzidos adicionando inicialmente a areia e a brita na betoneira, seguidas do cimento, da casca de arroz carbonizada e da água, dosados gradualmente até atingir a consistência desejada para cada traço. Por último, o aditivo plastificante foi adicionado.

2.3 *Slump test* e Moldagem dos corpos de prova

Após a produção dos traços, foi realizado o *slump test,* conforme Figura 4, para avaliar a consistência do concreto, e em seguida, os corpos de prova foram moldados, como pode ser visto na Figura 5. O *slump test* é um ensaio amplamente utilizado para avaliar a trabalhabilidade do concreto, fornecendo informações cruciais sobre a capacidade do material de ser moldado e compactado durante a fase de construção. Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e submersos em um tanque de água, onde permaneceram por um período de 28 dias para a cura, como mostrado nas Figuras 6 e 7.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Figura 4: Execução do *Slump test* Figura 5: Moldagem dos corpos de prova

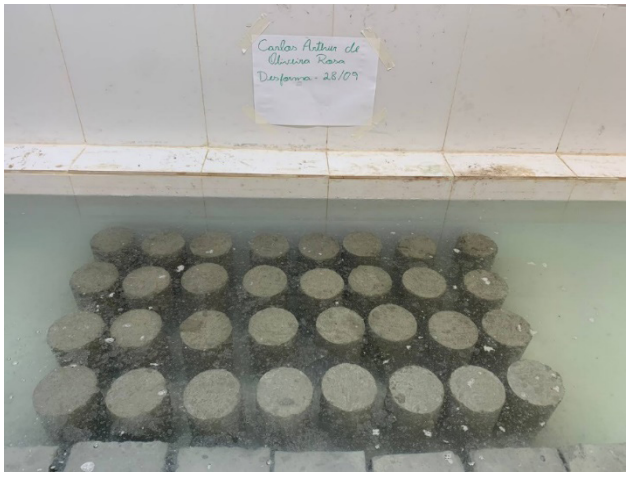




Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

Figura 6: Corpos de prova após o desmolde

Figura 7: Corpos de prova submersos





Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

2.4 Capilaridade

Para o ensaio de capilaridade, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 9779 (2012), foram utilizados três corpos de prova de cada traço de concreto em estudo. Esses corpos de prova foram inseridos em uma estufa a uma temperatura constante de 100ºC pelo período de 24 horas. Após esse processo de secagem controlada, cada corpo de prova foi pesado e, em seguida, colocado em um recipiente contendo água, no qual ficaram submersos a aproximadamente 40% de sua altura. Após um período de 24 horas de imersão, os corpos de prova foram novamente pesados. A diferença entre a massa inicial seco e a massa após 24 horas de imersão permitiram calcular a taxa de absorção de água, fornecendo informações importantes sobre a capacidade de absorção e a durabilidade do concreto em cada traço estudado. Esse procedimento fornece dados importantes para a análise da resistência à penetração de água no concreto, um fator essencial na avaliação de sua adequação para aplicações na construção civil.

2.5 Resistência à compressão axial e à compressão diametral

Os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à compressão diametral foram conduzidos após os corpos de prova terem sido submetidos à cura de 28 dias no tanque de água. Para preparar os corpos de prova, foi necessário retificá-los em uma máquina apropriada, assegurando que as superfícies estivessem planas e paralelas, conforme Figura 8 e 9. Após essa etapa de preparação, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, utilizando uma prensa de ensaio específica. Foram testados quatro corpos de prova de cada traço tanto de forma axial quanto de forma diametral, como visto nas Figuras 10 e 11.

Figura 8: Máquina de retífica Figura 9: Corpos de prova retificados



CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732



Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

Figura 10: Resistência à compressão axial Figura 11: Resistência à compressão diametral



Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

2.6 Análise de custos

Foi realizada ainda uma análise detalhada dos custos envolvidos na produção de cada traço de concreto, levando em consideração o custo médio de cada material utilizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 *Slump test*

Nesta seção, apresentaremos os resultados do *slump test* para cada traço de concreto, juntamente com considerações sobre cada resultado. As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam os resultados de cada traço estudado.

Traço de Referência (0% de CAC): O traço de referência, que não contém casca de arroz carbonizada (CAC), apresentou um valor de *slump* de 136mm. Esse resultado demonstra uma excelente trabalhabilidade do concreto de referência, o que é esperado, já que não há substituição do cimento. A alta consistência e fluidez desse traço tornam-no adequado para uma variedade de aplicações na construção civil, onde a facilidade de moldagem é fundamental.

Traço com 5% de CAC: No traço com 5% de CAC, observou-se um valor de *slump* de 109mm. Esse resultado indica uma redução na trabalhabilidade em comparação com o traço de referência. Embora o *slump* ainda seja considerado razoável para muitas aplicações, a diminuição na fluidez pode exigir ajustes nos procedimentos de construção, como vibração adicional para garantir a compactação adequada.

Traço com 7% de CAC: Para o traço com 7% de CAC, o *slump test* resultou em um valor de 94mm. Esta redução na trabalhabilidade em relação ao traço de referência sugere que a adição de 7% de casca de arroz carbonizada afetou significativamente a capacidade de moldagem do concreto. Esse traço pode requerer cuidados adicionais durante a construção para garantir que ele seja colocado e compactado de maneira eficaz.

Traço com 10% de CAC: Por fim, o traço com 10% de CAC obteve um valor de *slump* de 111mm. Embora esse resultado seja mais próximo do traço de referência em termos de trabalhabilidade, ainda indica uma redução em comparação com o concreto sem adição de casca de arroz. O uso de 10% de CAC pode exigir práticas de construção específicas para garantir que o concreto seja bem moldado e compactado.

O Gráfico 1 apresenta o comparativo entre os resultados encontrados entre os traços estudados.

Figura 12: *Slump test*; traço referência Figura 13: *Slump test*; 5% de CAC





Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

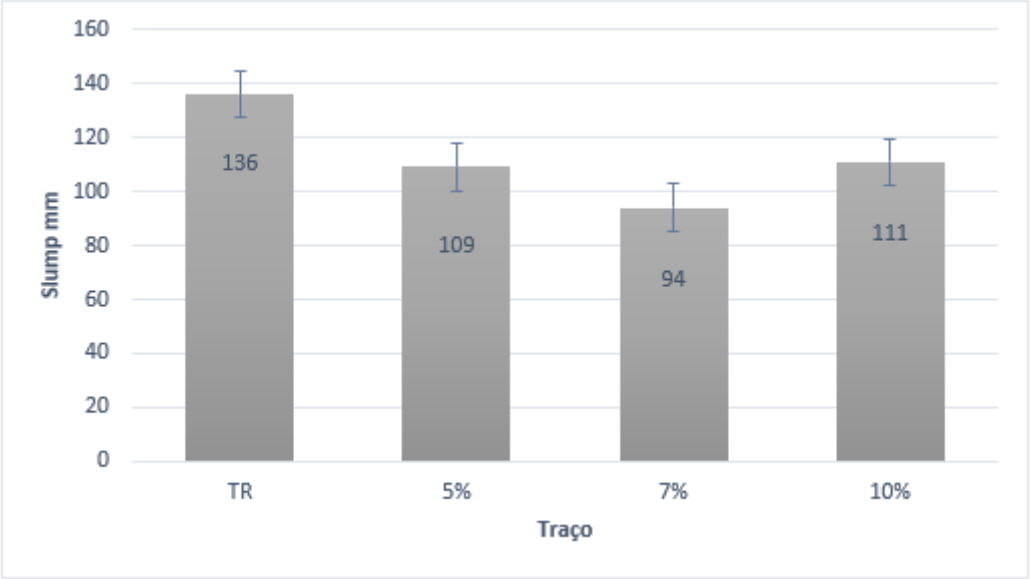
CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Figura 14: Slump test; 7% de CAC Figura 15: Slump test; 10% de CAC:



Fonte: Autoria própria Fonte: Autoria própria

Gráfico 1: Comparação de resultados – slump test



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Ao comparar os resultados do *slump test* obtidos neste estudo com os resultados de outras pesquisas relevantes, como o estudo de Ludwing (2014) e o estudo de Santos (2006), observam-se variações significativas na trabalhabilidade do concreto com a inclusão de casca de arroz carbonizada (CAC). Enquanto Ludwing (2014) registrou valores de 125mm no traço de referência, 115mm com 3% de CAC, 110mm com 5% de CAC e 125mm com 7% de CAC, o estudo de Santos (2006) apresentou resultados de 140mm no traço de referência, 140mm com 10% de CAC e 165mm com 5% de CAC. Essas variações nos resultados do *slump test* refletem o impacto da substituição parcial do cimento Portland pela casca de arroz carbonizada nos traços de concreto. A redução da trabalhabilidade está alinhada com achados de pesquisas anteriores, destacando a importância de encontrar o equilíbrio certo entre a sustentabilidade ambiental e o desempenho do concreto. É importante ressaltar que, de forma geral, a utilização de resíduos finos e moídos tende a absorver mais água durante o amassamento da mistura, o que resulta em uma redução na consistência do concreto. Portanto, a utilização de

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

um aditivo plastificante é fundamental para garantir uma trabalhabilidade adequada e manter a resistência do concreto dentro dos padrões aceitáveis. A próxima etapa deste estudo envolverá a avaliação da resistência do concreto, a fim de determinar como essas variações na trabalhabilidade podem afetar o desempenho mecânico do material.

3.2. Capilaridade

Após a execução do ensaio de capilaridade, os resultados foram compilados na Tabela 4, fornecendo uma visão clara das taxas de absorção de água em cada traço de concreto avaliado. Os dados revelaram que a média das taxas de absorção em g/cm² foi de 4,37 para o traço de referência, 4,12 para o traço com 5% de casca de arroz carbonizada (CAC), 4,44 para o traço com 7% de CAC e 4,16 para o traço com 10% de CAC, como visto no Gráfico 2. Esses resultados fornecem informações essenciais sobre a capacidade do concreto de absorver água ao longo do tempo, o que é um fator determinante na sua durabilidade e resistência à penetração de umidade. A análise desses dados no contexto dos diferentes traços de concreto contribui para a compreensão do desempenho da CAC como substituto parcial do cimento Portland e sua influência na resistência do material à penetração de água.

Tabela 4: Resultados do ensaio de capilaridade

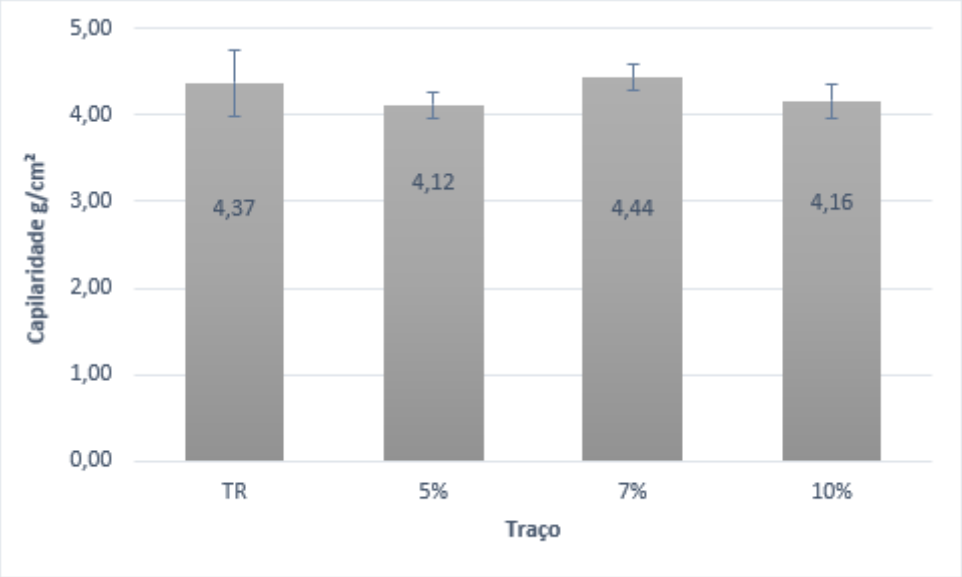
Área	Peso		Capilaridade g/cm²
78,54	Seco	24h	24h
TR 1	3.450	3.800	4,46
TR 2	3.530	3.900	4,71
TR 3	3.540	3.850	3,95
5% 1	3.540	3.850	3,95
5% 2	3.470	3.800	4,20
5% 3	3.570	3.900	4,20
7% 1	3.315	3.650	4,27
7% 2	3.440	3.800	4,58
7% 3	3.350	3.700	4,46
10% 1	3.460	3.800	4,33
10% 2	3.490	3.800	3,95
10% 3	3.420	3.750	4,20

Traço	Média
TR	4,37
5%	4,12
7%	4,44
10%	4,16

Fonte: Desenvolvido pelo autor

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Gráfico 2: Comparação de resultados - capilaridade



Fonte: Desenvolvido pelo autor

3.3. Resistência à compressão axial e à compressão diametral

Para os ensaios de resistência à compressão axial e diametral, foram elaboradas as Tabelas 5 e 6, permitindo o cálculo das médias de resistência em megapascal (MPa) para cada traço. Além disso, os Gráficos 3 e 4 ilustram os resultados atingidos. A análise estatística possibilitou uma comparação mais precisa dos resultados obtidos nos ensaios de resistência, contribuindo para uma avaliação completa do desempenho dos diferentes traços de concreto. A média de resistência em MPa representa um indicador importante da capacidade do concreto de suportar cargas, sendo um critério essencial na determinação de sua adequação para aplicações específicas na construção civil.

Tabela 5: Resultados – compressão axial Tabela 6: Resultados – compressão diametral

TRAÇO	RESISTENCIA MPA
TR-1	26,824
TR-2	23,334
TR-3	24,992
TR-4	22,826
5%-1	20,705
5%-2	20,717
5%-3	22,436
5%-4	19,955
7%-1	27,123
7%-2	23,557
7%-3	24,02
7%-4	17,535
10%-1	17,145
10%-2	22,143
10%-3	17,389
10%-4	24,215

TRAÇO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
TR	24,494	1,807828163
5%	20,953	1,050792201
7%	23,059	4,008416011
10%	20,223	3,517958878

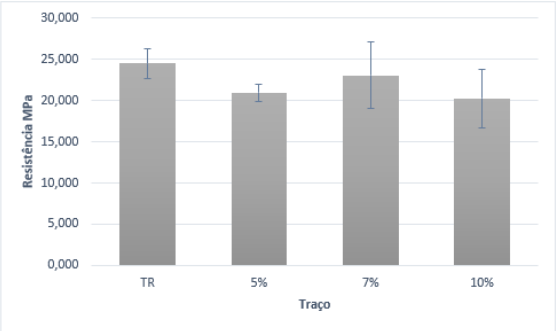
TRAÇO	RESISTENCIA MPA
TR-1	1,687
TR-2	1,428
TR-3	1,97
TR-4	2,131
5%-1	1,275
5%-2	1,787
5%-3	1,247
5%-4	1,362
7%-1	1,467
7%-2	1,797
7%-3	1,832
7%-4	1,685
10%-1	1,462
10%-2	1,416
10%-3	1,65
10%-4	1,393

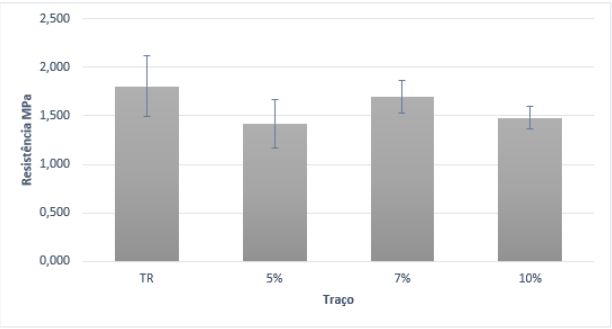
TRAÇO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
TR	1,804	0,310671316
5%	1,418	0,25098921
7%	1,695	0,164576983
10%	1,480	0,116745806

Fonte: Desenvolvido pelo Autor Fonte: Desenvolvido pelo autor

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Gráfico 3: Comparação de resultados – axial Gráfico 4: Comparação de resultados - diametral





Fonte: Desenvolvido pelo autor Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para comparação, foram considerados os resultados de trabalhos anteriores, como os apresentados por Santos (1997), que ensaiou traços com diferentes teores de CAC e obteve uma resistência à compressão axial de 38,2 MPa para o traço de referência, 44,88 MPa com 15% de CAC e 39,47 MPa com 40% de CAC. Fuhr (2013), por sua vez, ensaiou traços com diversos teores de CAC e alcançou resultados de 41,68 MPa para o traço de referência, 40,74 MPa com 7,5% de CAC, 39,71 MPa com 12,5% de CAC, 39,04 MPa com 17,5% de CAC e 34,89 MPa com 22,5% de CAC. Por fim, Ludwing (2014) ensaiou traços com diferentes teores de CAC e obteve resultados de 31,07 MPa para o traço de referência, 32,09 MPa com 3% de CAC, 26,8 MPa com 5% de CAC e 30,49 MPa com 7% de CAC.

Comparando os resultados do presente estudo com os resultados anteriores, observa-se que a resistência à compressão dos traços com substituição parcial de CAC tende a ser menor em comparação com o traço de referência, o que é consistente com as descobertas de pesquisas anteriores. No entanto, os resultados também indicam que a resistência do concreto pode ser mantida em níveis aceitáveis, mesmo com a presença de CAC em teores significativos, o que sugere a viabilidade de utilizar a casca de arroz carbonizada como substituto parcial do cimento Portland, alinhando-se com os princípios de sustentabilidade na construção civil. É importante notar que a escolha do teor ideal de substituição deve ser baseada em considerações econômicas e de desempenho, visando atender aos requisitos específicos de cada aplicação.

É importante mencionar que não foram realizados ensaios de pozolanicidade na CAC utilizada neste estudo, o que é uma lacuna a ser abordada em pesquisas futuras. A verificação da pozolanicidade da CAC é relevante, uma vez que, se comprovada a não pozolanicidade desse material, ele não reage quimicamente como o cimento Portland (GARCIA *et al.*, 2015). Isso pode explicar a sutil perda de resistência em relação ao traço de referência.

2.4. Análise de Custos

Para calcular os custos, foram adotadas as seguintes premissas:

Custo do Cimento: O custo médio do cimento foi obtido a partir do preço de R$ 31,15 por saco de 50kg, o que resulta em um custo de R$ 0,62 por kg.

Custo da Areia: O custo médio da areia foi calculado com base em um preço de R$ 163,50 por metro cúbico. Para essa conversão, considerou-se que cada metro cúbico de areia possui cerca de 1500kg, resultando em um custo médio de R$ 0,109 por kg.

Custo da Brita: O custo médio da brita foi calculado com base em um preço de R$ 104,90 por metro cúbico. Considerou-se que cada metro cúbico de brita possui aproximadamente 1400kg, resultando em um custo médio de R$ 0,0749 por kg.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Custo da Casca de Arroz Carbonizada (CAC): O custo da CAC variou de R$ 0,71 a R$ 0,96 por kg, dependendo da distância do fornecedor. Para calcular o custo médio, foi considerado um valor de R$ 81,66 por metro cúbico da CAC com base nos preços informados pelo site MF Rural. Foi também convertido para kg, levando em consideração que cada metro cúbico de CAC tem aproximadamente 620kg. Assim, o custo médio da CAC foi estimado em R$ 0,9603 por kg quando adquirida de um fornecedor mais distante e R$ 0,7119 por kg quando comprada de um fornecedor mais próximo.

Custo da Moagem e Peneiramento da CAC: O custo da moagem da CAC foi calculado considerando o gasto de energia de um liquidificador industrial de 110V e 25 litros. Com base no consumo de energia e nos custos médios de energia no Brasil (R$ 0,98 por kWh), o custo de moagem foi estimado em R$ 0,1649 por kg. Além disso, o custo de mão de obra para a moagem foi calculado em R$ 0,149 por kg. O custo de peneiramento também foi estimado em R$ 0,149 por kg, considerando o mesmo valor de mão de obra.

Custo do Frete da CAC: O custo do frete da CAC foi calculado com base em duas situações: uma em que a CAC foi adquirida de um fornecedor mais distante em Turvo, SC, a 1264km de distância de Teresópolis, RJ, e outra de um fornecedor mais próximo em Conchal, SP, a aproximadamente 654km de distância de Teresópolis, RJ. Para ambas as situações, foi considerado o custo médio nacional do frete por km (R$ 7,07 por km em janeiro de 2023), e um frete com 17.360kg, representando um bitrem com 56 big bags, onde cada big bag comporta 0,5m³ de CAC, correspondendo a cerca de 310kg. Com esses cálculos, o custo do frete por kg foi estimado em R$ 0,5148 na pior situação (fornecedor mais distante) e R$ 0,7119 na situação mais favorável (fornecedor mais próximo).

A partir dessas informações, foram desenvolvidas as Tabelas 7 e 8 com os custos para cada traço, permitindo uma análise precisa dos custos envolvidos na produção de concreto com diferentes níveis de substituição de CAC.

Tabela 7: Custo de cada traço considerando o fornecedor mais distante

COMPARAÇÃO DE CUSTOS POR M³

	CIMENTO			AREIA			BRITA			CAC			ADITIVO		
	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/L	TOTAL
TR	431,58	R$ 0,62	R$ 268,84	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	0	R$ 0,96	R$ -	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
5%	410,00	R$ 0,62	R$ 255,40	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	21,58	R$ 0,96	R$ 20,72	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
7%	401,37	R$ 0,62	R$ 250,02	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	30,21	R$ 0,96	R$ 29,01	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
10%	388,42	R$ 0,62	R$ 241,96	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	43,16	R$ 0,96	R$ 41,44	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36

CUSTO TOTAL 1M³	
TR	529,60
5%	536,88
7%	539,80
10%	544,16

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tabela 8: Custo de cada traço considerando o fornecedor mais próximo

COMPARAÇÃO DE CUSTOS POR M³

	CIMENTO			AREIA			BRITA			CAC			ADITIVO		
	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/KG	TOTAL	QNTD	CUSTO/L	TOTAL
TR	431,58	R$ 0,62	R$ 268,84	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	0	R$ 0,71	R$ -	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
5%	410,00	R$ 0,62	R$ 255,40	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	21,58	R$ 0,71	R$ 15,36	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
7%	401,37	R$ 0,62	R$ 250,02	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	30,21	R$ 0,71	R$ 21,51	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36
10%	388,42	R$ 0,62	R$ 241,96	723,45	R$ 0,11	R$ 78,86	1035	R$ 0,07	R$ 77,55	43,16	R$ 0,71	R$ 30,72	8,6316	R$ 12,09	R$ 104,36

CUSTO TOTAL 1M³	
TR	529,60
5%	531,52
7%	532,29
10%	533,44

Fonte: Desenvolvido pelo autor

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo proporcionou uma análise abrangente dos parâmetros tecnológicos do concreto com a substituição parcial do cimento Portland pela casca de arroz carbonizada (CAC). O objetivo principal era avaliar o desempenho do concreto com diferentes níveis de substituição de cimento por CAC (5%, 7% e 10%), abordando uma variedade de ensaios.

Os resultados dos ensaios de *slump test* indicaram que a consistência do concreto, mesmo com a adição de CAC, permaneceu dentro de faixas adequadas para a maioria das aplicações na construção civil. Isso demonstra que a CAC pode ser usada para melhorar a trabalhabilidade do concreto, o que é uma característica importante para a construção.

No ensaio de capilaridade, os traços com CAC apresentaram absorção de água similar ao traço de referência, sugerindo que a inclusão de CAC não afetou significativamente a durabilidade do concreto. Isso é um indicativo positivo da resistência do concreto com CAC à penetração de água, o que é fundamental para sua durabilidade em aplicações práticas.

Os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à compressão diametral revelaram uma diminuição na resistência do concreto com a adição de CAC em comparação com o traço de referência. No entanto, os resultados indicaram que os traços com CAC ainda mantiveram níveis aceitáveis de resistência, mesmo com a redução. Essa diminuição da resistência era esperada, uma vez que a CAC possui características diferentes em relação ao cimento Portland.

Uma análise de custo foi realizada para avaliar a viabilidade econômica da utilização de CAC. Os cálculos demonstraram que o custo do concreto com CAC variou dependendo da distância do fornecedor, mas em ambos os casos, os custos foram competitivos. É importante destacar que, para produções em grandes escalas, o custo do concreto com CAC pode reduzir ainda mais, tornando-se uma alternativa economicamente vantajosa em comparação com o concreto convencional.

Esses resultados sugerem que a substituição parcial do cimento Portland pela CAC pode ser uma alternativa sustentável na produção de concreto, alinhando-se com os princípios de redução da pegada de carbono e gestão adequada de resíduos. Além disso, a utilização de resíduos agrícolas como a CAC pode oferecer uma solução econômica para a indústria da construção.

Perspectivas para estudos futuros incluem a investigação mais aprofundada de outros parâmetros tecnológicos do concreto, como a retração, a fissuração e a trabalhabilidade, para avaliar o desempenho em diferentes cenários e aplicações. Além disso, a pesquisa sobre a otimização das dosagens, a melhoria da qualidade da CAC e a investigação de outras fontes de resíduos agrícolas para substituição parcial do cimento são áreas que merecem atenção.

Em resumo, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a viabilidade da utilização da casca de arroz carbonizada como substituto parcial do cimento Portland na produção de concreto. A pesquisa promove a sustentabilidade na construção civil, oferecendo uma alternativa ambientalmente responsável e economicamente viável. Com estudos futuros e aprimoramentos contínuos, a utilização de resíduos agrícolas na construção civil pode se tornar uma prática comum, contribuindo para a redução da pegada de carbono e o uso eficiente dos recursos naturais.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. P. N. et al. AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CINZA DO EUCALIPTOCOMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA ADIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO PORTLAND. RevistaMultidisciplinar doNordesteMineiro,v3,2022/03ISSN 2178-6925, 18 Mar. 2022.

BBC NEWS BRASIL. Aquecimento global: a gigantesca fonte de CO2 que está por toda parte, mas você talvez não saiba. BBC, 17 Dec. 2018.

BEZERRA I. M. T., SOUZA J., CARVALHO J. B. Q., NEVES G. A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 6, p. 639–645, 2011.

CASCA ARROZ CARBONIZADA. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/busca/casca-arroz-carbonizada>. Acesso em: 17 oct. 2023.

CORDEIRO, N. K. et al. GESTÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS COMO FORMA DE REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS. REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS RCA (ISSN 1981-8858), 2020.

FÜHR, J. F. ESTUDO DA ADIÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL. [s.l.] UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2013.

GARCIA E., CABRAL JUNIOR M., QUARCIONI V. A., CHOTOLI F. F. Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 251–258, 2015.

JUNG, Z. P. S. Cimento sustentável - Potencial da cinza do bagaço da cana-deaçúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. [s.l: s.n.].

LEHNE, J.; PRESTON, F. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>. Acesso em: 13 oct. 2023.

LUDWIG, D. G. CONCRETO COM ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ. [s.l.] CENTRO UNIVERCITARIO UNIVATES, Jun. 2014.

MENDES, C. J. CONCRETO AUTOADENSÁVEL UTILIZANDO CINZA DE CASCA DE ARROZ: ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2015.

PEREIRA A. M., SILVA C. A. R., QUEIROZ D. C. A., MORAES M. J. B., MELGES J. L. P., TASHIMA M. M., AKASAKI J. L. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. Revista Matéria, v. 20, n. 01, p. 227–238, 2015.

SANTOS, S. ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL EM ARGAMASSAS E CONCRETOS. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

SANTOS, S. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE POZOLANA COM BAIXO TEOR DE CARBONO OBTIDA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL PARA CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO. [s.l: s.n.].

Sika® Concreto Forte. Disponível em: <https://bra.sika.com/pt/construcao/tecnologia-do-concreto/aditivos-para-concreto-e-argamassa/sika-concreto-forte.html>. Acesso em: 9 out. 2024.

TRINDADE, G. H. DURABILIDADE DO CONCRETO COM CINZA DE CASCA DE ARROZ NATURAL SEM MOAGEM: MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA E PENETRAÇÃO DE CLORETOS. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL SANTA MARIA, 2011.