



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ITHALO DIEGO BARBOSA RIBEIRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO
DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ**

PALMAS - TO

2021

ITHALO DIEGO BARBOSA RIBEIRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO
DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

PALMAS - TO

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

R484a Ribeiro, Ithalo Diego Barbosa
Análise de desempenho físico e mecânico do concreto com
adição de cinzas de casca de arroz / Ithalo Diego Barbosa Ribeiro. –
Palmas, TO, 2021.
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientadora: Dra. Cláudia da Silva A. Rezende
Coorientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Concreto. 2. Cinzas. 3. Sustentabilidade. I. Rezende, Cláudia
da Silva A.. II. Pedroza, Marcelo Mendes. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

ITHALO DIEGO BARBOSA RIBEIRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO
DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Aprovado em: 03/12/2021

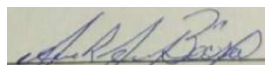
BANCA EXAMINADORA



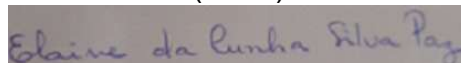
Prof^a. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende
Orientadora
(IFTO)



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Coorientador
(IFTO)



Prof. Dr. Antonio Rafael de Souza A. Bôsson
(IFTO)



Prof^a. Me. Elaine da Cunha Silva Paz
(IFTO)

RESUMO

Em decorrência do atual cenário mundial, onde o desenvolvimento industrial deve estar alinhado com a preocupação com o meio ambiente, o reaproveitamento de biomassa oriunda de casca de arroz (CA) surge como uma solução no que tange à sustentabilidade visando no destino correto para resíduos depositados de maneira indevida na natureza. Em virtude dos problemas ambientais causados pela casca de arroz (CA) e pela possibilidade de causar impacto na sustentabilidade ao ser aplicada à construção civil, o presente trabalho objetivou analisar o comportamento físico e mecânico do concreto com adição dessas cinzas, a partir da análise de corpos-de-prova cilíndricos 10 cm x 20 cm, com substituição parcial de cimento *Portland* através do *software Protimiza Experimental Design*, em teores de 2,15; 3,00; 7,5; 12,00 e 12,85% sugeridos pelo próprio planejamento, com uso de aditivo plastificante. O planejamento experimental seguiu o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para análise de uma variável, sendo considerado um fator, Fator 1: proporção de cinzas de casca de arroz (CCA) substituído parcialmente pelo cimento, que gerou duas respostas como resultado, e por meio destas, foram analisados os comportamentos da adição de cinza de casca de arroz (CCA) no concreto. Pôde-se perceber que os corpos-de-prova de concreto com adições de cinzas demonstraram uma performance desfavorável tratando estatisticamente, mas na construção civil, apresentou relevância no comportamento tanto físico quanto mecânico, além de pontos positivos perante aos aspectos sustentáveis, como também, tendo como efeito paralelo, o benefício no aspecto financeiro, quando comparado dos os valores normativos de referência. Logo, tratando da utilização de cinzas provenientes da queima da casca de arroz na adição parcial do cimento *Portland* para fabricação de concreto revelou-se positiva como uma alternativa tecnológica e sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Cinzas; Concreto; Resistência.

ABSTRACT

As a result of the current world scenario, where industrial development must be aligned with the concern for the environment, the reuse of biomass from rice husks (CA) emerges as a solution with regard to sustainability aiming in the correct destination for waste improperly deposited in nature. Due to the environmental problems caused by rice husk (CA) and the possibility of impacting sustainability when applied to civil construction, this study aimed to analyze the physical and mechanical behavior of concrete with the addition of these ashes, from the analysis of 10 cm x 20 cm cylindrical specimens, with partial replacement of Portland cement using the Protimiza Experimental Design software, in contents of 2.15; 3.00; 7.5; 12.00 and 12.85% suggested by the planning itself, with the use of plasticizer additive. The experimental planning followed the Central Composite Rotational Design (DCCR) for analysis of a variable, being considered a factor, Factor 1: proportion of rice husk ash (CCA) partially replaced by cement, which generated two responses as a result, and through these, the behavior of the addition of rice husk ash (CCA) to concrete were analyzed. It could be seen that the concrete specimens with ash additions showed an unfavorable performance when treating statistically, but in civil construction, it showed relevance in both physical and mechanical behavior, in addition to positive points in relation to sustainable aspects, as well as, having as a parallel effect, the benefit in the financial aspect, when compared to the normative reference values. Therefore, dealing with the use of ashes from the burning of rice husks in the partial addition of Portland cement for concrete manufacturing, it proved to be positive as a technological and sustainable alternative.

Keywords: Sustentability; Ashes; Concrete; Resistance, resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cereal de arroz.....	14
Figura 2 - Casca de arroz (CA).....	15
Figura 3 - Cinzas da casca de arroz (CCA).....	17
Figura 4 - Uso na Construção Civil de cinzas da casca de arroz (CCA)	21
Figura 5 - Clínquer na fabricação do cimento.....	25
Figura 6 - Fluxograma da interação dos fatores que influenciam na resistência do concreto	27
Figura 7 - Planejamento experimental a ser desenvolvido	28
Figura 8 –Ensaio de densidade aparente	32
Figura 9 – Ensaio de pH no laboratório de análises de águas	33
Figura 10 – Ensaio de teor de umidade.....	34
Figura 11 - Ensaio do abatimento do tronco de cone	36
Figura 12 - Moldagem dos corpos-de-prova.....	37
Figura 13 – Diagrama de Pareto para o ensaio de resistência à compressão	40
Figura 14 – Valores experimentais versus previstos, para ensaio de resistência à compressão.....	41
Figura 15 – Diagrama de Pareto para o ensaio de abatimento de tronco de cone.....	43
Figura 16 – Valores experimentais versus preditos para ensaio de abatimento de tronco de cone.....	45

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Nomenclatura e composição dos tipos básicos de cimento Portland.....	25
Quadro 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	40

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1 – Teor de umidade.....	34
Equação 2 – Regressão Linear.....	44

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Caracterização do cimento Portland CII - F	24
Tabela 2 - Fatores e níveis do planejamento experimental	30
Tabela 3 - Ordem experimental	30
Tabela 4 – Valores do ensaio de densidade aparente.....	32
Tabela 5 – Valores do ensaio de pH.....	33
Tabela 6 – Valores do ensaio de teor de umidade.....	34
Tabela 7 – Dados do ensaio de resistência à compressão.....	39
Tabela 8 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de resistência à compressão	41
Tabela 9 - Dados do ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test.....	42
Tabela 10 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test	44
Tabela 11 – ANOVA, para o ensaio de tração na flexão	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Problema de pesquisa	12
1.2. Justificativa	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo geral.....	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Produção do Arroz	14
2.2. Casca de Arroz (CA)	15
2.3. Reciclagem e Questões Ambientais	16
2.4. Cinzas da Casca de Arroz (CCA)	16
2.5. Indústria do Arroz e os Resíduos Agroindustriais	17
2.6. Resíduos e Biomassa	18
2.7. Adições Minerais e Reação Pozolânica	19
2.8. Cinzas da Casca de Arroz (CCA) na Construção Civil	20
2.9. Concreto	21
2.9.1. Cimento	23
2.10. Concreto com Cinzas de Casca de Arroz (CCA)	26
2.11. Resistência Mecânica à Compressão	26
3. METODOLOGIA	28
3.1. Planejamento experimental	28
3.2. Materiais e métodos	31
3.2.1. Caracterização física e química das cinzas	31
3.2.2. Caracterização dos materiais dos traços de concreto	35
3.2.3. Dosagem do concreto.....	35
3.2.4. Confeção dos corpos-de-prova, ensaios de resistência física e mecânica ...	36
3.2.5. Comparativo: Análise de dados	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1. Dados das caracterizações dos materiais	38
4.2. Comportamento mecânico: resistência à compressão	39
4.3. Comportamento físico: abatimento de tronco de cone – <i>Slump Test</i>	42

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação do meio ambiente tem se tornado um dos temas mais preconizados na indústria mundial. A sustentabilidade é um dos termos mais difundidos e requeridos em toda sociedade, em busca da fabricação utilizando o mínimo consumo energético e menor impacto ecológico. SANTOS (1997) apud BLATT (2016).

De acordo com o atual cenário global, onde a sustentabilidade é o único caminho para preservação do meio ambiente, faz-se necessário o aproveitamento correto dos resíduos gerados na agricultura, indústria e demais áreas. Na agricultura, é gerado uma quantidade muito grande de resíduos, como por exemplo a biomassa. Na cultura do cultivo do arroz, há a geração da biomassa advinda da casca do arroz, e o reuso desse resíduo é um problema a ser resolvido.

De maneira geral, a biomassa enquadra-se perfeitamente no conceito do desenvolvimento sustentável, pois permite a criação de empregos na região, dinamiza as atividades econômicas, reduz os custos relativos à distribuição e transmissão da energia gerada e, quando utilizada de forma sustentável, não agride o meio ambiente. HOFMANN, et. al. (2010).

O arroz é um dos alimentos mais relevantes para a alimentação humana, servindo como base alimentar para mais de três bilhões de pessoas no mundo, o tornando o segundo cereal mais cultivado no mundo (29% da produção), ficando atrás apenas do milho, com percentual de 33%. LUDWIG, 2014, apud SOSBAI (2010).

Após a colheita, na etapa de beneficiamento são gerados diferentes resíduos, onde a casca do arroz se destaca, principalmente devido ao grande volume gerado GASTALDINI; IRION, (2001). Conforme Silva et. al. (2012), na safra de 2011/2012, foram gerados cerca de 2.525.640 toneladas de casca no Brasil. Antes da criação de resoluções próprias, como o Ministério do Meio Ambiente (2010), que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, boa parte desse resíduo era descartado de uma maneira equivocada, sendo depositado em diversos locais, principalmente em fundos de rios e de lavouras. HOFMANN et. al. (2010).

Uma alternativa ética, ecológica e economicamente rentável é a geração de energia através da queima da casca de arroz, o que gera como resíduo principal sua cinza. HOFMANN et. al. (2010). Essa cinza é considerada um resíduo agroindustrial,

largamente encontrada em regiões de grande produção do grão (LUDWIG, apud POUHEY, 2006).

Segundo TASHIMA et. al. (2011), na maior parte dos países produtores de arroz, diversos estudos estão sendo realizados no sentido de aumentar as possibilidades de reutilização da Cinza de Casca de Arroz (CCA) em outros setores produtivos. Neste sentido, a construção civil está utilizando a CCA como material pozolânico na preparação de concretos e argamassas a base de cimento Portland.

Segundo LUDWIG apud HOFFMANN (2010), a cinza da casca de arroz (CCA) é um resíduo que possui em sua composição 92% de sílica, uma combinação entre componentes como silício e oxigênio. Ludwig apud Neto et. al. (1995) comentam que a sílica apresenta como principal característica a dureza elevada, podendo ser aplicada na fabricação de cimento, tintas, produtos farmacêuticos, cosméticos, inseticidas, entre outros.

A realização de pesquisas sobre a utilização de cinza da casca de arroz (CCA) tem como principal finalidade reduzir o impacto ambiental gerado por seu descarte no meio ambiente. Destaca-se, neste campo, a grande demanda da construção civil como aditivo de materiais. LUDWIG, apud POUHEY (2006).

Segundo Pouey (2006), a possível substituição do cimento por cinzas de casca de arroz (CCA) alivia, de certa forma, o alto consumo de recursos naturais não renováveis, os quais, uma vez consumidos, não podem ser substituídos a curto prazo.

Segundo TASHIMA et al. (2011), o processo de utilização de cinza de casca de arroz em concretos e argamassas iniciou-se na década de 70, onde Mehta e Pitt (1976) utilizavam um processo controlado de queima da casca para obter cinzas de excelentes características.

As diversas pesquisas realizadas com a cinza de casca de arroz mostram que este resíduo pode ser utilizado em substituição parcial ao cimento *Portland*, na preparação de aglomerantes cimentícios melhorando as propriedades finais do produto formado. Não se pode esquecer, entretanto, que as propriedades alcançadas pelas argamassas e concretos produzidos com as cinzas da casca de arroz (CCA), dependem das características físicas, químicas e mineralógicas da mesma.

Tendo em vista o conhecimento dessas características das cinzas da casca de arroz (CCA), a qual pode ser substituída parcialmente no lugar do cimento, é interessante fazer um estudo e validar por meio de ensaios em laboratórios, a resistência física e mecânica do concreto com adição desse resíduo. Neste contexto, o assunto

se mostra importante, pois o uso das cinzas da casca de arroz como componentes do concreto pode-se apresentar como um material alternativo e sustentável na construção civil.

1.1. Problema de pesquisa

Considerando a oportunidade de aproveitamento das cinzas provenientes da queima da casca de arroz (CA) que hoje são desprezíveis, questiona-se de que maneira esses resíduos provenientes da casca de arroz, em substituição parcial do aglomerante cimento, irão acrescentar no desempenho físico e mecânico do concreto?

1.2. Justificativa

A utilização de cinzas de biomassa a partir de subprodutos agroindustriais contendo grandes quantidades de sílica sob forma amorfa na fabricação de cimento e/ou na produção de concreto pode ser uma solução alternativa para a incorporação dos materiais de cimentação suplementares (MCSs) usados tradicionalmente. ALBERNAZ apud DEMIS, et. al. (2014).

Ainda de acordo com os autores anteriores, os subprodutos industriais, tais como escória de alto-forno, cinzas volantes e fumos de sílica foram utilizados como materiais de substituição de cimento, tanto na produção de clínquer como na substituição parcial de cimento Portland em argamassas e concreto nos últimos 25 anos (ALBERNAZ, 2019).

O aumento de resíduos oriundos da agricultura (biomassa), sem destinação correta, nos remete à reflexão de como fazer o reuso e aplicação desse resíduo de forma sustentável. De acordo com estudos sobre a biomassa oriunda do arroz, casca de arroz, ao ser queimada se transformando em cinza (CCA), esse material fica com 92% de sua composição em sílica ativa.

Várias adições minerais provenientes de resíduos são empregadas em conjunto com cimento Portland, dentre os quais se destacam tradicionalmente: cinza volante, sílica ativa, argila calcinada e escória de alto forno. ALBERNAZ apud MEHTA e GJORV, (1982); AMBROISE *et al.*, (1984); MARSH e DAY, (1987); OSBORNE, (1998); FERNANDEZ *et al.* (2011).

Segundo BLATT apud MEHTA e MONTEIRO (2008) uma das indústrias que mais gera cinza, é a indústria alimentícia de produção de arroz, onde cada tonelada

de arroz colhido resulta em aproximadamente 200kg de casca que, na queima, produz 40kg de cinzas da casca de arroz (CCA), possuindo estas propriedades pozolânicas, importantes para o concreto.

Assim, segundo DAL MOLIN (2011) o emprego desta adição não só reduz os impactos ambientais como também amortiza o volume de extração da matéria prima do cimento ou clínquer, já que, de acordo com SJOSTROM (1996) apud DAL MOLIN (2011) a indústria da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais, utilizando cerca de 20 a 50% dos recursos consumidos pela sociedade. BLATT (2016).

Então, se faz interessante a realização de um estudo sobre como será o desempenho mecânico do concreto se tiver em sua composição, a substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz. É sabido que o cimento é um material relativamente caro, correspondente à matéria prima de maior valor na fabricação do concreto simples.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o desempenho físico e mecânico do concreto com adição de cinzas provenientes da queima da casca de arroz (CA), através do planejamento experimental, ao substituir parcialmente o cimento *Portland* pelas cinzas da casca de arroz como matéria prima no traço de concreto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades físico-químicas das cinzas da casca de arroz (CCA);
- Analisar as propriedades física e mecânica do concreto no estado fresco e endurecido;
- Comparar os resultados físico e mecânico do concreto do traço referência e os demais traços.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Produção do Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal muito consumido no mundo, de acordo com EMBRAPA (2008), é uma espécie hidrófila, cujo processo evolutivo tem levado à sua adaptação às mais variadas condições ambientais, como mostra na Figura 1, sendo considerado o produto de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento, constituindo-se alimento básico para cerca de 2,4 bilhões e pessoas. o arroz é cultivado por cerca de 120 países em todos os continentes, sendo um hábito indiscutível da população mundial e que dificilmente sofrerá substituição por outro tipo de grão. GURGEL (2012).

Figura 1 - Cereal de arroz



Fonte: Dinâmica (2020).

O Brasil é o nono maior produtor do cereal, com 10,6 milhões de toneladas, sendo considerada uma das mais importantes culturas produzidas no país. A disponibilidade de água, as condições climáticas e a extensão territorial conferem ao Estado do Tocantins grande potencial para produção agrícola, ressaltando-se as culturas de grãos, dentre estas, o arroz irrigado por inundação.

No ecossistema tocantinense, a área cultivada, em 2004/05, ficou próxima de 60 mil hectares, o que evidencia o grande potencial para a expansão da cultura irrigada no Estado. EMBRAPA (2008).

2.2. Casca de Arroz (CA)

A casca de grãos de arroz é um material proveniente do rejeito agrícola de atividades industriais em países produtores de arroz. A casca de grãos de arroz, de acordo com a Figura 2, removida durante o refinamento, não tem nenhum interesse comercial ou uso na área agrícola, mas se apresenta como um problema devido à necessidade de seu armazenamento. O eventual beneficiamento e a conversão da casca de arroz em outros produtos apresentam interesse socioeconômico e ambiental. GONÇALVES (2009).

Figura 2 - Casca de arroz (CA)



Fonte: Aguiurbana (2020).

Segundo HOUSTON (1972), CA corresponde a aproximadamente 20% do peso do grão, sendo o maior subproduto da produção de grãos. É constituída de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de resíduos orgânicos. A casca de arroz armazena, durante o crescimento da planta, sílica (SiO_2) provinda do solo. A quantidade de sílica presente nas cascas de arroz (CA) depende de variáveis, tais como condições climáticas, temperatura e ação de fertilizantes. ALI et al (1992).

Conforme FONSECA (1999), a sílica apresenta características próprias, tais como, resistência mecânica e a ataques químicos, e baixa condutividade térmica. Es-

sas propriedades são exigências para que o concreto seja considerado de boa qualidade. Patel et al. (1987) cita que as cinzas de arroz (CA) contêm 22,12% de sílica (SiO_2), 73,8% de materiais orgânicos e água e cerca de 4% de outros materiais. A incineração da casca é feita para que a quantidade de sílica (SiO_2) seja aumentada, obtendo na cinza da casca de arroz quantidades de 90% a 96%. JULIANO (1985).

2.3. Reciclagem e Questões Ambientais

A reciclagem de diversos materiais, como, por exemplo, resíduos agrícolas, resíduos industriais, de mineração, entulhos, entre outros, colabora intensamente para a preservação ambiental. BEZERRA, et al (2010). O aproveitamento de resíduos provenientes da agricultura tem se tornado indispensável devido aos altos custos ambientais provenientes do seu descarte inadequado no meio ambiente.

A casca do arroz, bem como a cinza derivada da sua queima indiscriminada, tornou-se altamente preocupantes em várias regiões do Brasil, principalmente na região Sul, devido ao grande volume produzido anualmente. ZUCCO (2008).

2.4. Cinzas da Casca de Arroz (CCA)

Segundo MILANI (2008), a cinza da casca de arroz (CCA) é gerada através da queima da casca de arroz, podendo ser obtida através de fornalhas, queima a céu aberto e, ainda, em fornos que possibilitem o controle de temperatura. POUHEY (2006) cita que a CCA corresponde a 20% do volume de casca de arroz e é um material leve, com bastante volume e porosidade.

A coloração da cinza pode variar devido às impurezas e às mudanças de temperatura contidas no processo de queima. A cor escura, como mostra na Figura 3, possui maior quantidade de carbono e menor quantidade de matéria orgânica queimada. Já a cor branca aponta para um material oxidado. SANTOS (2006).

Figura 3 - Cinzas da casca de arroz (CCA)



Fonte: Animar Casca de Arroz (2020).

A temperatura da queima influencia na sílica contida na amostra. Para que haja o máximo de reatividade, a temperatura deve ocorrer de forma controlada, com temperaturas entre 300 a 800 graus Celsius. GUEDERT (1989). Conforme Houston (1972), os teores de sílica nas cinzas variam de 90% a 95%.

2.5. Indústria do Arroz e os Resíduos Agroindustriais

O Brasil situa-se entre os grandes produtores mundiais de arroz, com uma produção de 13,6 milhões de toneladas colhidas na safra 2010/2011. O estado do Rio Grande do Sul, por sua vez, registrou uma produção total de 8,9 milhões de toneladas na mesma safra, o que corresponde a cerca de 65% da produção nacional. SANTOS et. al. (2012). Após a colheita, na etapa de beneficiamento são gerados diferentes resíduos, onde a casca do arroz se destaca, principalmente devido ao grande volume gerado. LUDWIG apud GASTALDINI; IRION (2001).

Conforme SILVA et. al. (2012), na safra de 2011/2012, foram gerados cerca de 2.525.640 toneladas de casca no Brasil. Antes da criação de resoluções próprias, como o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2010), que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, boa parte desse resíduo era descartado de

uma maneira equivocada, sendo depositado em diversos locais, principalmente em fundos de rios e de lavouras. LUDWIG apud HOFMANN et. al. (2010).

Os resíduos agroindustriais (RAI) são provenientes de atividades como agricultura, indústrias têxteis, de papel, automobilísticas e de beneficiamento de metais e, devido à geração concentrada sua reutilização torna-se mais fácil. NETO apud PEREIRA *et al.* (2012); JOHN (2000).

As atividades industriais, ao mesmo tempo que oferecem benefícios à população, através de seus inúmeros produtos produzidos, são também responsáveis pela exploração de recursos naturais e pela consequente geração de resíduos e rejeitos industriais que sobram da produção dos bens de consumo. NETO apud BALDAN (2015).

Vários problemas poderiam ser diminuídos com a reciclagem dos resíduos agroindustriais, como o impacto ambiental e os custos agregados das indústrias. NETO apud CALDAS (2016). O reaproveitamento de resíduos aparece nos dias atuais como questão fundamental na melhoria do ambiente, tanto na redução do desperdício de recursos naturais, quanto na minimização dos impactos ambientais gerados pela disposição final desses resíduos. NETO apud CALDAS, *et al.*, (2016); MARTINS *et al.* (2000).

O progressivo desenvolvimento industrial, a inquietação ambiental com a gestão dos resíduos gerados, a fiscalização por parte das agências ambientais e a concorrência cada vez maior no mercado através das certificações, fazem com que os estudos para utilização dos resíduos industriais sejam mais intensificados. NETO apud ANDRADE (2016).

2.6. Resíduos e Biomassa

De acordo com a NBR 10.004 ABNT (2004), a classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. ABNT (2004). Continuando com os efeitos dessa

Norma citada, os resíduos são classificados em resíduos classe I (perigosos); resíduos classe II (não perigosos) que são subdivididos em classe IIA (não inertes) e classe IIB (inertes). NETO (2020).

Em relação à NBR 10.004 ABNT (2004):

“resíduos sólidos: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Quando se trata de biomassa, define-se como toda e qualquer matéria orgânica que é empregada para produção e geração de energia. Alguns pontos positivos podem ser citados em relação ao uso da biomassa na produção de energia que são o pequeno custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. NETO apud BIOMASSABR (2017).

2.7. Adições Minerais e Reação Pozolânica

Segundo a NBR 11.172 ABNT (1990), as adições minerais podem ser classificadas quanto a sua ação físico-química em três tipos: inertes, cimentantes e pozolânicas. As adições minerais do tipo inertes/fíler são materiais essencialmente finos e uniformes, cujas ações são puramente físicas e não possuem nenhuma atividade química, no sentido da produção de C-S-H. NETO (2020).

Essas adições promovem o efeito do empacotamento granulométrico e funcionam como ponto de nucleação para hidratação dos grãos de cimento. Quando presentes em pequena quantidade (normalmente menos que 15% da massa do cimento) proporcionam melhorias sobre as propriedades da massa como trabalhabilidade, massa específica, porosidade e exsudação e a tendência a fissuração. NETO apud CALDAS et al. (2016); DAL MOLIN (2005); NEVILLE (1997); OLIVEIRA (2000).

A NBR 11578 ABNT (1991) que trata do cimento *Portland* composto, estabelece que o teor de fíler incorporado deve variar de 6 a 10% da massa do cimento e que um material carbonático ou fíler deve ter no mínimo 85% de CaCO_3 . NETO (2020).

Pozolana é classificada como um material cimentício que possui em sua composição sílica reativa, que por si só possui pouca ou nenhuma atividade cimentícia, mas que, quando moída finamente e na presença de água, possui a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio formando compostos cimentícios. BLATT apud NEVILLE (2016).

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) seu uso vem crescendo cada vez mais por questões ecológicas e econômicas, podendo ser oriundas da natureza, como as pozolanas naturais em estado bruto, ou de subprodutos industriais, como por exemplo a cinza volante e cinzas da casca de arroz (CCA), sendo que estes, ao serem largados no meio ambiente acarretam em desperdício de material além de causar sérios problemas ambientais. BLATT (2016).

Porém, se acrescentadas ao concreto, as adições de pozolanas oferecem diversos benefícios, melhorando tanto a reologia (sua deformabilidade em função do tempo) em seu estado fresco, quanto no seu comportamento mecânico e durabilidade no estado endurecido. NETTO (2006). Entretanto, estas adições costumam possuir um efeito retardador sobre a resistência do concreto nas primeiras idades. BATT apud MEHTA; MONTEIRO (2008).

Esse aumento das propriedades mecânicas e durabilidade, se explica basicamente pelo fato de estas adições, ao reagirem com o CH da hidratação do clínquer e/ou cimento *Portland*, forma como produto o C-S-H, que precipitam nos poros capilares diminuindo a permeabilidade e a absorção. BATT apud MEIRA (2009).

2.8. Cinzas da Casca de Arroz (CCA) na Construção Civil

As diversas pesquisas realizadas com a cinza de casca de arroz mostram que este resíduo pode ser utilizado em substituição parcial ao cimento *Portland*, na preparação de aglomerantes cimentantes melhorando as propriedades finais do produto formado. Não se pode esquecer, entretanto, que as propriedades alcançadas pelas argamassas e concretos produzidos com as cinzas de casca de arroz (CCA), dependem das características físicas, químicas e mineralógicas da mesma. Um exemplo na construção civil é na utilização em calçadas, como mostra na Figura 4.

Figura 4 - Uso na Construção Civil de cinzas da casca de arroz (CCA)



Fonte: MRV (2017)

FOLETTO et. al. (2005) descreve que são variadas as possibilidades do uso das cinzas de casca de arroz. Algumas delas são descritas a seguir:

- a) Sílica pura: utilizada para a fabricação de vidros, cerâmica, tijolos, cosméticos e detergentes industriais. É obtida através do processo de aquecimento realizado para remover o carbono residual contido na queima, possibilitando uma quantidade de 95% de sílica pura.
- b) Uso em concretos e produção de cimento: usada para melhorar as propriedades do cimento, no estado fresco e após seu endurecimento.

AKASAKI et al. (2005) citaram que a incorporação de cinzas de casca de arroz na confecção de argamassas e concretos não prejudica propriedades importantes para a funcionalidade de execução tais como: tempos de início e fim de pega, expansibilidade e retração por secagem. De acordo com DUART et al. (2006) a cinza de casca de arroz sem moagem pode ser utilizada em concretos, desde que o tempo de mistura do concreto seja estudado.

2.9. Concreto

A descoberta do concreto ao final do século XIX revolucionou a maneira dos homens construírem, de modo a tornar o concreto o material mais consumido na construção civil e o segundo material mais consumido na humanidade depois da água LUDWIG apud ISAIA (2007).

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008), existem três razões que tornam o concreto essencial na engenharia. A primeira 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. GIONGO (2014).

O concreto fresco possui resistência plástica, favorecendo a sua entrada em moldes de variados tamanhos. Após algumas horas, o concreto endurece e é possível retirar suas fôrmas, pois ele torna-se uma massa consistente. A terceira razão para o uso do concreto é o baixo custo e a rapidez com que ele é disponível na obra. Essa razão explica-se pelo fato de os materiais que o constituem agregado, água e Cimento Portland possuírem preços baixos e estarem disponíveis em qualquer local do mundo. LUDWIG (2014).

O Cimento *Portland*, ao ser misturado com a água, forma uma mistura fluida, que depende da quantidade de água adicionada. Para fazer o concreto de Cimento *Portland*, é necessário conter essencialmente cimento, água e agregados, além de ser possível a adição de fibras, pigmentos e aditivos.

A proporção desses materiais na mistura é buscada pela tecnologia do concreto, com intuito de adquirir propriedades mecânicas, durabilidade e trabalhabilidade. LUDWIG apud ISAIA (2007).

O material escolhido para construir deve suportar as forças a que será submetido. A resistência é uma propriedade mecânica que leva em consideração a tensão necessária para o rompimento do material. MEHTA e MONTEIRO (2008). O concreto tem como principal característica a resistência à compressão simples.

A variação de índices de resistência se dá, principalmente, pela relação água/cimento (a/c), sendo que, quanto maior a quantidade de cimento, maior será a resistência do concreto. LUDWIG apud RECENA (2002).

A durabilidade do concreto 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.

Por ser um material cerâmico, o concreto pode retrair, fazendo com que pequenas fissuras sejam causadas. Isso permite que a água e outros materiais abrasivos percolem em seu interior causando degradação. LUDWIG apud RECENA (2002).

São inúmeros os métodos para avaliar a trabalhabilidade do concreto, porém, o mais utilizado, pela facilidade de execução, baixo custo e simplicidades dos equipamentos, é o abatimento de tronco de cone, conhecido também como “slump test”. RECENA (2016). Este ensaio na realidade define a consistência da mistura, sendo geralmente aplicado para garantir a constância da relação a/c. BLATT (2016).

A utilização do aditivo tem a finalidade de atingir a uniformidade de consistência, medida pelo abatimento, entre as misturas, sem a necessidade de modificar a relação água/cimento obtido pelo traço referência, de modo que, a cinza de casca de arroz necessita de um maior consumo de água. BLATT (2016).

A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto de fluir, sem que perca a homogeneidade. Existem fatores internos e externos que afetam a trabalhabilidade do concreto. Com relação aos fatores internos, pode-se citar o traço e, através dele, as relações água/cimento e ainda a proporção entre agregado graúdo e miúdo, denominada granulometria.

Quanto aos fatores externos, devem ser considerados o modo de mistura e o tipo de transporte, através de bombas, guinchos ou calhas. LUDWIG apud PETRUCCI (1998).

2.9.1. Cimento

Segundo a ABCP (2002), o cimento Portland é constituído de um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes que sob a ação da água endurece, e que, depois de endurecido não apresenta decomposição sob a ação da mesma.

As caracterizações do cimento CP II – F por exemplo, se encontram na Tabela 1, a seguir.

É considerado o material de construção de mais vasta utilização no mundo, tendo em 2010 um consumo mundial de 3.313,00 milhões de toneladas segundo dados da SNIC (2013), chegando a um consumo por habitante de aproximadamente 4350 kg/hab naquele ano. ISAIA (2011).

Tabela 1 – Caracterização do cimento *Portland* CPII - F

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE ENSAIO	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	PARÂMETROS NOR-MATIVOS DA NBR 11578: 1991
Massa unitária (g/cm ³)	NBR NM 23: 2001	1,05	-
Massa específica (g/cm ³)	NBR NM 23: 2001	3,17	-
Finura Blaine (cm ² /g)	NBR NM 76: 1998	4380	≥ 2600
Resíduo na peneira # 200, 75mm (%)	NBR 11579: 1991	0,8	≤ 12
Resíduo na peneira # 325, 45 mm (%)	NBR 12826: 1993	5,8	-
Tempo de início de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	2 h, 20 min	≥ 1 h
Tempo de fim de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	3 h, 00 min	≤ 10 h (facultativo)
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	23,0	≥ 10
7 dias (MPa)		31,5	≥ 20
28 dias (MPa)		40,0	≥ 32
Teor de MgO (%)	NBR NM 14: 2012	1,04	≤ 6,5
Teor de SO ₃ (%)	NBR NM 14: 2012	2,65	≤ 4,0

Fonte: Carasek, Araújo (2016).

Em panorama nacional, de acordo com dados do último relatório anual divulgado pelo SNIC (2013, p.5) sobre o consumo deste material “[...] o Brasil chegou ao final de 2013 com 2,4% de crescimento em relação ao ano anterior, atingindo 71 milhões de toneladas. ”, isso significou um consumo per capita de 353 kg/hab. O cimento *Portland* comum é basicamente um aglomerante hidráulico resultante de um processo de moagem do clínquer. CARVALHO (2009). ISAIA (2011) menciona que o clínquer utilizado na fabricação do cimento é composto de cerca de 80% de calcário e 20% de argila, que possuem em suas composições químicas os principais óxidos do clínquer, quais sejam: CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃.

Este material passa por um complexo processo de queima, e posterior moagem para tornar-se um pó bem fino ao qual é adicionado gesso, resultando o cimento *Portland*. O gesso é adicionado para controlar o tempo de endurecimento do material ou tempo de pega. GUERREIRO (2007). Segundo BASTOS (2006), todos os tipos de cimento têm em sua composição o clínquer (rocha calcária britada que tem como matéria prima a argila e o calcário), que o torna o principal componente do cimento. A Figura 5 mostra o clínquer utilizado para a fabricação do cimento.

Figura 5 - Clínquer na fabricação do cimento

Fonte: Farenzena (2019)

Quadro 1 - Nomenclatura e composição dos tipos básicos de cimento Portland

Nome Técnico do Cimento <i>Portland</i>	Sigla	Conteúdo de componentes (%)				
		Classes	Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler calcáreo
Comum	CPI	25, 32, 40	100	0		
Comum com Adição	CPI-S	25, 32, 41	99-95	1-5		
Composto com Escória	CPII-E	25, 32, 42	94-56	6-34	0	-
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32, 43	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Fíler	CPII-F	25, 32, 44	94-90	0	0	6-10
Alto-forno	CPIII	25, 32, 45	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	85-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a sulfado	RS	25, 32, 40	(*)			
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 41	-	-	-	-
Banco estrutural	CPS	25, 32, 42	-	-	-	-

(*) A composição depende do tipo original do qual é derivado

Fonte: Battagin (2011).

2.10. Concreto com Cinzas de Casca de Arroz (CCA)

O concreto feito com as cinzas de casca de arroz (CCA) em substituição ao cimento tem sido reportado por diversos autores. Segundo MEHTA (1992), nenhum outro tipo de material pozolânico, incluindo a sílica ativa, tem potencial para contribuir no ganho de resistência com baixas idades como a CCA. Além de acelerar o ganho da resistência, a mesma contribui para reduzir a segregação e a exsudação, tornando o concreto com melhor trabalhabilidade.

MEHTA (1992) conclui ainda que é possível substituir mais de 70% do cimento por cinzas de casca de arroz (CCA), basta que 10% a 20% seja inserida para que o concreto se beneficie com ganho de resistência e diminuição de permeabilidade com relação asulfatos e cloretos.

THASHIMA et al (2004) verificaram ganho de resistência inicial em concretos com adição de 5% e 10% CCA, esta sem controle de queima e moída por 30 minutos. Constataram ainda que há aumento na resistência em idades mais avançadas, apontando benéfico o uso das cinzas da casca de arroz (CCA) para redução de poluição ambiental emelhoria das propriedades do concreto.

SAMPAIO, COUTINHO e SAMPAIO (2000) pesquisaram o uso de cinzas da casca de arroz (CCA) de origem portuguesa em substituição ao cimento com quantidades de 10%, 15% e 20% e concluíram que estes obtiveram maior resistência à compressão e maior resistênciaà penetração de cloretos, quando comparados com o traço referência sem adição.

Conforme NEHDI, DUQUEUTTE e DAMATTY (2003) o uso de cinzas de casca de arroz (CCA) utilizada como suplemento do concreto melhora propriedades como resistência a cloretos e à compressão, além de utilizar um subproduto do arroz e contribuir para a redução de impactos ambientais.

2.11. Resistência Mecânica à Compressão

A resistência à compressão do concreto é a propriedade mais valorizada por engenheiros e projetistas e, portanto, a maioria dos elementos de concreto é projetada de forma suportar forças de compressão. LIDWIG apud MEHTA e MONTEIRO (2008).

Um fator determinante para a alteração da resistência é a quantidade de água ao concreto. Não existindo um correto controle da umidade dos materiais, o concreto

será sempre fabricado com diferentes relações água/cimento (a/c) e consequentemente, diferentes resistências. LIDWIG apud RECENA (2002).

No que tange a resistência, a combinação da relação a/c com a porosidade dos materiais, isto é, fração do volume de vazios, é o fator mais importante, tendo em vista que a zona de transição entre o agregado graúdo e vazios na camada de cimento das extremidades é afetada.

A figura 6 mostra a interação dos fatores que influenciam na resistência do concreto.

Figura 6 - Fluxograma da interação dos fatores que influenciam na resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

O ensaio de resistência à compressão é realizado em laboratório e seus testes com idade de 28 dias são aceitos universalmente. MEHTA e MONTEIRO (2008).

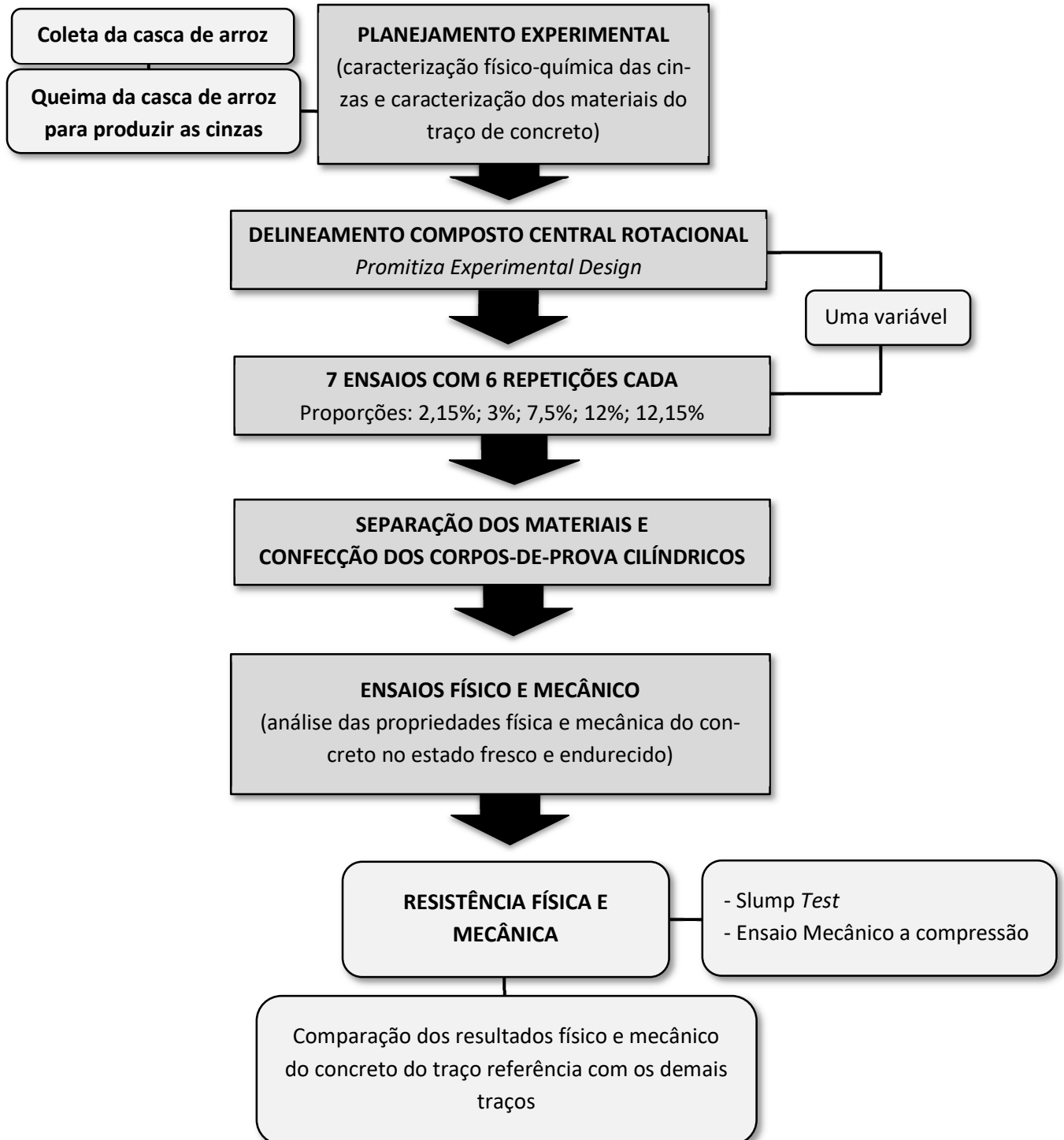
Para definir as propriedades do cimento, são feitas adições ao clínquer, tais como materiais carbonáticos e pozolânicos, gesso e escórias de alto-forno. BASTOS (2006).

3. METODOLOGIA

3.1. Planejamento experimental

A evolução metodológica dos procedimentos realizados está representada na Figura 7.

Figura 7 - Planejamento experimental a ser desenvolvido



Fonte: Autor (2021).

Antes de iniciar os ensaios, aplicou o planejamento experimental de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com pelo menos 6 repetições, com 7 combinações do fator sem perder a qualidade do experimento, além do traço referência sem adição.

Foram feitos então os levantamentos de todas as normativas necessárias e as determinações dos intervalos de proporções de cinzas de casca de arroz.

Os intervalos de proporções foram determinados a partir de literatura, na qual a sílica constituída nas cinzas com porcentagem muito alta não é interessante pois o concreto perde muito sua trabalhabilidade e resistência mecânica. Para TIBONI (2007) as proporções de substituição de cimento por CCA para que o concreto ofereça um bom desempenho está na faixa de até 15%. Segundo o autor, substituições maiores que 15% apresentam menores ganhos de resistência e maior custo final do concreto.

O experimento para análise física e mecânica do concreto com adição de cinzas de casca de arroz (CCA) foi executado na empresa especializada em tecnologia do concreto Controle Engenharia LTDA, localizada em Palmas – TO. O procedimento foi dividido em 4 etapas: preparação e caracterização dos materiais e das cinzas, moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos 10 cm x 20 cm com diferentes traços, rompimento dos corpos-de-prova cilíndrico e trabalhabilidade e por fim a comparação dos resultados.

O primeiro passo foi a coleta das cinzas da casca de arroz em uma chácara na cidade de Axixá do Tocantins, posteriormente foram feitas as caracterizações necessárias e preparação dos materiais constituintes para os traços de concreto como areia média, brita 0, cimento CII-F e as cinzas, e adição de aditivo plastificante Sika ViscoCrete (adição de 0,5% do peso do cimento utilizado), que foram disponibilizados pelo próprio *Campus*. Essas caracterizações foram imprescindíveis para o cálculo de dosagem do concreto pelo método ACI.

Sendo assim, os ensaios foram realizados de acordo com os fatores e níveis, conforme os fatores e níveis. Os domínios das faixas dos parâmetros estudados estão dispostos na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Fatores e níveis do planejamento experimental

Fatores	Níveis				
	(-1,19)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,19)
% de cinzas substituídas pelo cimento	2,15	3	7,5	12	12,85
Tempo de cura úmida por imersão, em dias	28	28	28	28	28

Fonte: Autor (2021).

A ordem dos experimentos empregados no planejamento experimental juntamente com os fatores foi gerada, a partir do *Protimiza*, como mostra na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Ordem experimental

Ordem dos experimentos	Fatores
	% de cinzas substituídas pelo cimento (x ₁)
1	3
2	12
3	2,15
4	12,85
5	7,5
6	7,5
7	7,5

Fonte: Autor (2021).

Iniciaram-se os cálculos de dosagem do concreto pelo método ACI e a partir disto, os materiais foram separados sendo a quantidade de materiais separados feita para cada traço, além do cálculo da substituição parcial da massa do cimento pelas cinzas, como também dos valores obtidos da caracterização dos próprios materiais.

Houve a mistura dos materiais em betoneira de 150 litros, na seguinte ordem: polvilhamento com cimento nas paredes da betoneira, adição do agregado graúdo junto com metade de água, logo depois areia e cimento, por fim, o aditivo plastificante diluído em água e acrescento de água até a consistência ideal do concreto.

Foi feito o ensaio do abatimento de tronco de cone, o *Slump Test*. Posteriormente, a moldagem de 6 corpos-de-prova (6 repetições) cilíndrico para cada traço desejado com as adições de cinzas, totalizando 42, além do traço denominado referência (sem CCA), totalizando 6 corpos-de-prova, conforme os procedimentos da

NBR-5738 ABNT (2003), e seguindo os processos de confecção, desmoldagem, armazenagem e cura sob imersão.

Como também foi realizado o rompimento dos corpos-de-prova de concreto, para verificação da resistência à compressão conforme a NBR-5739. ABNT (2007). A idade do rompimento foi de 28 dias. Por último, o comparativo dos traços confeccionados após a análise de dados.

3.2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados estão descritos a seguir. As cinzas da casca de arroz que foram utilizadas foram coletadas em uma chácara em Axixá do Tocantins – TO, através da deixando-as ricas em carbonos fixos e sílica amorfa, se transformando em cinzas de casca de arroz (CCA).

Para a realização dos ensaios foi utilizado o Cimento *Portland* CP II – F. No traço realizado do concreto com adição foram utilizadas as areias médias coletadas disponibilizadas pelo próprio *Campus* Palmas.

Também foi usada a brita 0 disponibilizada pelo *Campus*. Para o traço em questão foi adicionado aditivo plastificante Sika ViscoCrete que segundo o fabricante melhora a trabalhabilidade e produz concretos com alta qualidade, além da redução do consumo de água, também disponibilizado pelo IFTO.

3.2.1. Caracterização física e química das cinzas

As cinzas da casca de arroz (CCA) foram passadas por ensaios de laboratório conforme as seguintes normativas: NBR NM 23:2001 – Cimento *Portland* e outros materiais em pó: determinação da massa específica; Densidade aparente; JIS K 1474 – Ensaio de pH; ASTM D 3173-85 – Teor de umidade.

Foi feito no presente trabalho, o cálculo da densidade aparente das cinzas, conforme Figura 8 a seguir, na qual acoplou-se uma proveta de 100 mL em uma balança analítica. Zerou-se a balança e adicionou-se a cinza e obteve-se as massas (g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 20 mL, 40 mL, 60 mL, 80 mL e 100 mL, e determinou-se a densidade aparente, pela relação da massa, em gramas, pelo volume, em mililitro, com resultado da média das densidades aparentes adquiridas, de 0,393, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores do ensaio de densidade aparente

Volume (ml)	Massa (g)	Densidade (g/cm³)
20	7,910	0,396
40	15,900	0,398
60	23,730	0,396
80	31,330	0,392
100	38,510	0,385
Densidade aparente média (g/cm³)		0,393
Desvio padrão		0,005
Coefficiente de variação (%)		1,253

Fonte: Autor (2021).

Figura 8 –Ensaio de densidade aparente

Fonte: Autor (2021).

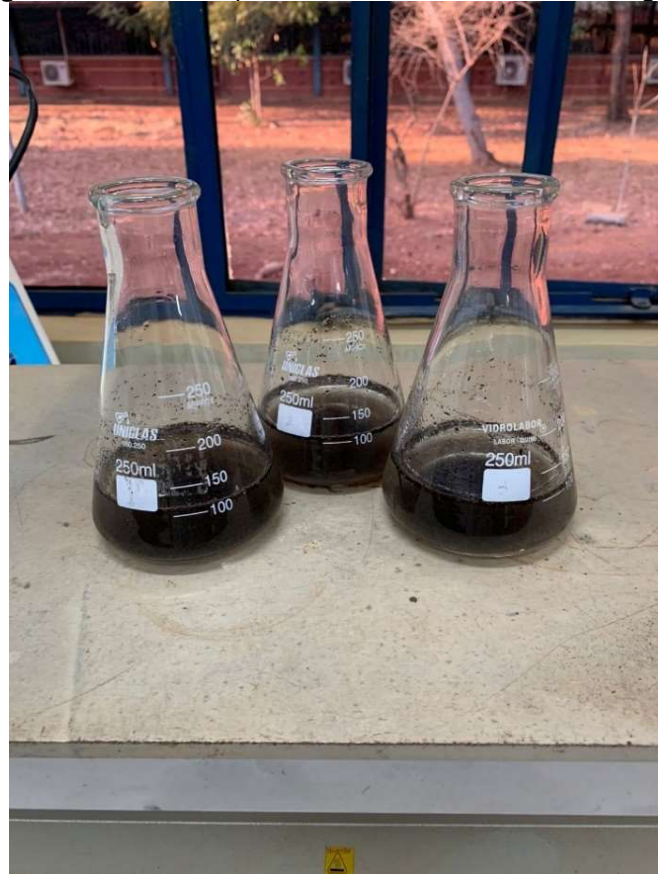
O experimento de pH das cinzas, conforme Figura 9, foi determinado de acordo com a norma JIS K 1474. O ensaio experimental consistiu em fazer a adição em um elermeyer de 200 mL, 1 g de cinza e 100 mL de água deionizadas. Vale lembrar que os experimentos foram realizados em triplicada, ou seja, três repetições.

Levou a mistura aquecimento e deixou em ebulição por 5 minutos, resfriando a temperatura ambiente. Na mistura já esfriada adicionou-se 100 mL de água deionizada e em seguida mediu-se o pH da suspensão com um pH-metro de marca Orion Star, modelo A20, e como resultado do maior valor de pH de 8,12 e menor de 7,59, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Valores do ensaio de pH

Ensaio	pH
1	8,10
2	7,59
3	8,12

Fonte: Autor (2021).

Figura 9 – Ensaio de pH no laboratório de análises de águas

Fonte: Autor (2021).

Como também, o teor de umidade (%) das cinzas, de acordo com a Figura 10 a seguir, na qual foi realizado de acordo com a norma ASTM D 3173-85. A massa de aproximadamente 1 g de cinza foi adicionada a cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado.

Para o experimento, foi realizado em triplicada, ou seja, três repetições, e feito a média dos valores encontrados. Vale lembrar que, conforme os procedimentos, a amostra foi aquecida em estufa à temperatura de 110°C, por um período de 1 hora. Posteriormente, a amostra contida no cadinho foi colocada em dessecador de vidro, por aproximadamente 10 minutos e pesado novamente.

O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 1.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P1+P0)-P2}{(P0)} \times 100 \quad \text{Equação 1 – Teor de umidade}$$

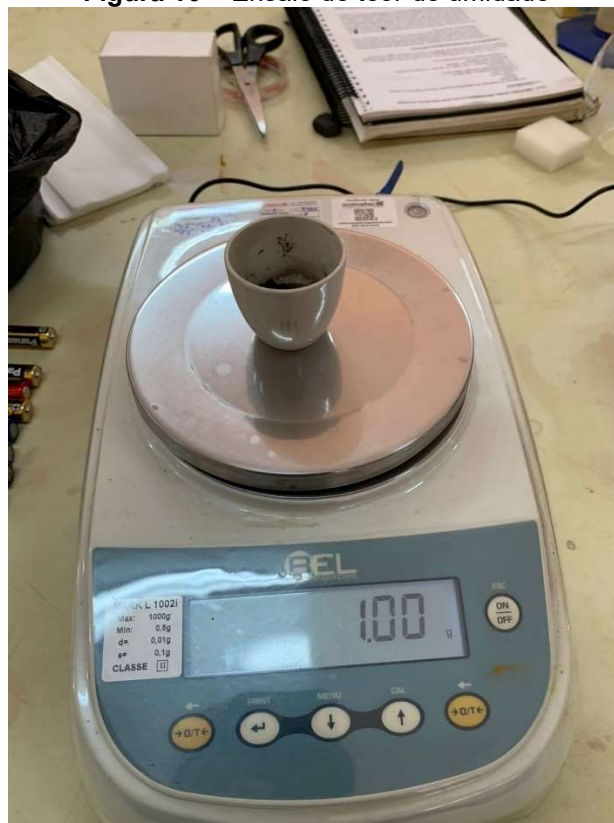
Em que P1 é peso do cadinho, P2 é o peso do cadinho mais a amostra após o aquecimento na estufa, P0 é o peso da amostra. O ensaio de teor de umidade teve como resultado a média dos três valores obtidos, sendo de 11,667%, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Valores do ensaio de teor de umidade

Dados	Cadinho 01	Cadinho 02	Cadinho 03
P1 (g)	32,310	34,880	33,180
P2 (g)	33,150	35,790	34,080
P0 (g)	1,000	1,000	1,000
Teor de umidade (%)	16,00	09,00	10,00
Teor de umidade médio (%)		11,667	
Desvio Padrão		0,038	
Coefficiente de Variação (%)		32,45	

Fonte: Autor (2021).

Figura 10 – Ensaio de teor de umidade



Fonte: Autor (2021).

3.2.2. Caracterização dos materiais dos traços de concreto

Foram passados por ensaios de laboratório, os materiais dos traços de concreto, conforme as seguintes normativas: NBR NM 248:2003 – Determinação da composição granulométrica de agregados; NBR NM 45:2006 – Agregados: determinação da massa unitária e volume de vazios; NBR NM 52:2003 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa aparente.

3.2.3. Dosagem do concreto

A dosagem do concreto é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis. Neste sentido, o presente trabalho avalia o desempenho mecânico de concretos dosados, pelo método de dosagem ACI (*American Concrete Institute*). ALBERNAZ (2019), sendo o f_{ck} de 25 MPa, abatimento de 80 mm com 20 mm para mais e para menos, e desvio padrão, definido pela NBR 12655 – Concreto de Cimento *Portland* Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

O método ACI é composto de 7 etapas representadas em sua ordem de execução: Passo 1: Escolha do abatimento; Passo 2: Escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo; Passo 3: Estimativas dos teores de água e ar incorporado; Passo 4: Estimativa da relação água/cimento; Passo 5: Cálculo de teor de cimento; Passo 6: Cálculo de teor de agregado Graúdo; Passo 7: Cálculo do agregado miúdo.

Para melhor compreensão, o roteiro de cálculo foi resumido a seguir:

As variáveis de entrada são de acordo com os tipos de construção que vai ditar a trabalhabilidade desejada, diâmetro máximo do agregado, fator água/cimento adequado para a durabilidade, resistência do concreto aos 28 dias, além das informações do agregado miúdo como módulo de finura, massa específica aparente e massa específica absoluta, agregado graúdo como diâmetro máximo do agregado, massa específica aparente e massa específica absoluta, por fim o cimento como resistência esperada à compressão aos 28 dias e massa específica.

O roteiro de cálculo iniciou-se com o passo 1, correlacionando o abatimento desejado com o diâmetro máximo do agregado graúdo e obtém o volume de água necessário, para 1 m³ de concreto. Passo 2, a partir de uma curva de Abrams correlaciona-se a resistência esperada aos 28 dias com o tipo de cimento utilizado para

obter um fator água-cimento a/c . Já com o volume de água, calcula-se o consumo de cimento, para 1 m^3 de concreto. Passo 3, correlaciona o módulo de finura do agregado miúdo com o diâmetro máximo do agregado que utiliza para obter o volume de agregado graúdo, e para obter a massa deve-se utilizar a massa específica aparente, além de obter a relação entre a massa de agregado graúdo e a massa do cimento. Passo 4, cálculo da relação entre a massa de agregado miúdo e a massa de cimento, para somar o volume total de 1 m^3 de concreto. Passo 5, apresenta o traço em massa no formato (cimento: brita: areia: água/cimento).

3.2.4. Confecção dos corpos-de-prova, ensaios de resistência física e mecânica

Para verificar a influência da substituição parcial do cimento por resíduos de biomassas nas características do concreto no estado fresco e endurecido, foram realizados os seguintes ensaios de acordo com as normativas: NBR NM 67 ABNT (1998) Concreto – Determinação da consistência por abatimento do tronco de cone, conforme Figura 11; NBR 5739 ABNT (2010) Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos; NBR 5738:2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova., de acordo com a Figura 12.

Figura 11 - Ensaio do abatimento do tronco de cone



Fonte: Autor (2021).

Figura 12 - Moldagem dos corpos-de-prova



Fonte: Autor (2021).

3.2.5. Comparativo: Análise de dados

Os ensaios e planejamentos experimentais tiveram como referência a utilização do software *Protimiza Experimental Design* no qual utilizou-se o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), para análises estatísticas importantes juntamente com seu nível de significância, sendo a variável independente a porcentagem de substituição de cinzas pelo cimento e a invariável o tempo em dias de cura úmida por imersão por 28 dias. Vale lembrar que o próprio programa gera os dados estatísticos de extrema importância para interpretação dos resultados.

Neste caso, foi feito o método ANOVA (*Analysis of Variance*), gerado automaticamente pelo *software*, na qual objetiva identificar se possui alguma diferença entre os betas que serão obtidos. A partir disso, foi concebida a regressão do planejamento com os valores resultantes obtidos nos ensaios experimentais. Além também, resultaram-se a representação do diagrama de Pareto e as respostas previstas foram ajustadas por um modelo linear – respostas no formato de gráficos e tabelas.

E por fim, foram feitas as comparações dos resultados obtidos a partir de um valor de referência, na qual a dosagem do concreto não possui nenhuma substituição do cimento – o concreto convencional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho constituiu no planejamento experimental com a resposta dos efeitos a partir do Fator 1 a proporção de cinzas em substituição do cimento, em porcentagem, sendo a variável de entrada, sendo duas respostas de saída, com y_1 a resistência mecânica à compressão e y_2 o *slump test*, colocando os dados de acordo com os níveis, a partir do modelo de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com três repetições do ponto central. Vale lembrar que o Fator 2, tempo de cura por imersão, em dias, foi de 28 dias, respeitando a normativa, e por ser uma invariável, não consta no modelo proposto.

O modelo mostra todos os comportamentos físicos e mecânicos do concreto, evidenciando qual a melhor combinação a partir das correlações.

Os resultados obtidos a partir do planejamento experimental com as respostas do modelo proposto foram comparados com os requisitos mínimos que a norma NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento, juntamente com o traço referência. Como também os dados resultantes dos ensaios de caracterização dos materiais.

4.1. Dados das caracterizações dos materiais

Os resultados obtidos de cada ensaio de caracterização dos materiais foram imprescindíveis para a realização da dosagem do concreto e estão expostos a seguir.

- Dimensão máxima característica do agregado graúdo = 12,5 mm;
- Dimensão máxima característica do agregado miúdo = 2,38 mm;
- Massa unitária da brita = 1,50 g/cm³;
- Módulo de finura da areia = 2,45;
- Massa específica real do cimento = 3,1 g/cm³;
- Massa específica real da areia = 2,62 g/cm³;
- Massa específica real da brita = 2,86 g/cm³;
- Massa específica real das cinzas = 2,63 g/cm³;

4.2. Comportamento mecânico: resistência à compressão

Quando se trata de comportamento mecânico em relação a resistência à compressão, os resultados dos ensaios do planejamento experimental pelo modelo de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados do ensaio de resistência à compressão

Ordem experi- mental	Fator	Resposta	Desvio padrão	Média da resis- tência à com- pressão do traço de refe- rência, em MPa
	% de cinzas substituídas pelo cimento (x_1)	Média da resis- tência à com- pressão em MPa (y_1)	Desvio padrão dos resulta- dos dos 6 cor- pos-de-prova	
1	3	37,89	2,31	
2	12	27,54	1,80	
3	2,15	29,52	2,27	
4	12,85	24,37	1,42	29,94*
5	7,5	31,84	3,53	
6	7,5	29,23	2,84	
7	7,5	27,88	3,14	

* Média da resistência à compressão, em MPa, do traço de referência, aos 28 dias

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 7, pode-se observar que a maior resistência mecânica à compressão, quando se trata na significância estatística, foi identificado no ensaio 01, com 3% de substituição de cinzas por cimento aos 28 dias de cura úmida por imersão, com resultado médio de 37,89 MPa, contraposto a menor resistência mecânica à compressão resultante foi no ensaio 04, com 12,85% de substituição de cinzas por cimento aos 28 dias de cura úmida por imersão, com resultado médio de 24,37 MPa.

Na mesma tabela, para melhor compreensão do resultado, foi inserido um valor de resistência mecânica à compressão de um traço referência, no qual não possui nenhum tipo de substituição do aglomerante cimento, valor este que foi retirado seguindo os mesmos procedimentos dos demais ensaios, de 29,94 MPa. Quando comparado com traço de referência, pode-se observar que os resultados não foram tão satisfatórios. Quando comparado com a classe do concreto da NBR 8953 – Concreto para fins estruturais, para classe de agressividade II, Concreto Armado (CA) ≥ 25 , no Quadro 2, apresentou resultados melhores.

Quadro 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

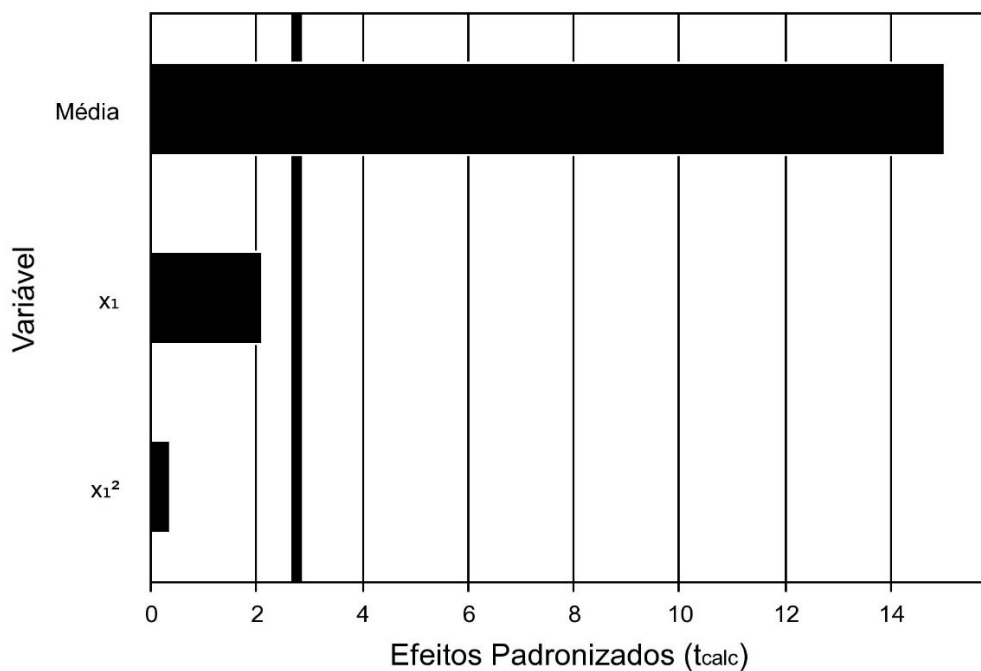
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 8953 (2021).

Logo depois, com os resultados obtidos, foi possível fazer a análise estatística, considerando a variável de substituição de cinzas pelo cimento, em porcentagem. O que gerou análises de diagrama e gráficos, como o Diagrama de Pareto, com 5% de incerteza e 95% de confiança, como mostra na Figura 13, que mostra x_1 e x_1^2 não obtiveram significância estatística, evidenciando abaixo da linha de significância.

Figura 13 – Diagrama de Pareto para o ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autor (2021).

Uma outra forma de analisar estatisticamente é olhar os efeitos dos coeficientes de regressão, no caso, p-valor, que tem objetivo inferir se um efeito foi estatisticamente significativo ou não, ou seja, pra ser significativo ou não, o p-valor deve ser menor que 0,005. Conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de resistência à compressão

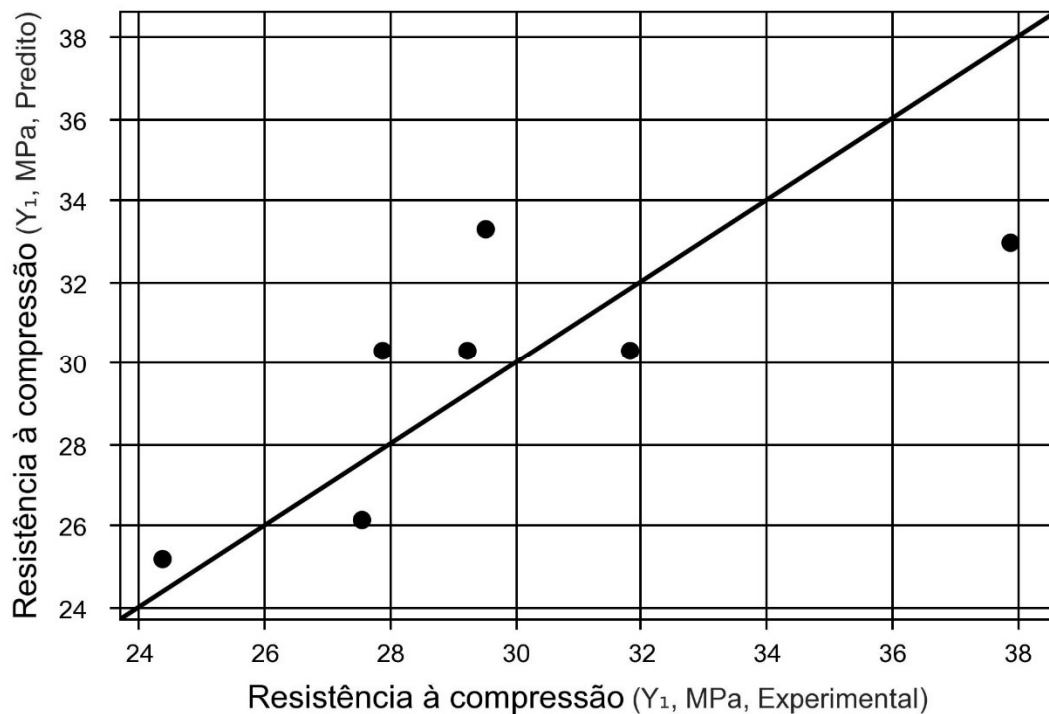
Fator	Coeficiente	Erro padrão	t calculado	p-valor
Média	30,27	2,01	15,03	0,0001
X₁	-3,41	1,62	-2,11	0,1026
X₁.X₂	-0,76	2,18	-0,35	0,7458

Fonte: Autor (2021).

A Tabela 8 mostra os coeficientes a um nível de significância de 95%. O que mostra valores altos, não sendo estatisticamente significativos (como mostra no Diagrama de Pareto) ou seja, está dizendo que os resultados trabalhando com teores de cinzas entre 2,15% e 12,85% não possui diferença entre eles, estatisticamente.

O gráfico na Figura 14 apresenta a comparação entre os resultados observados e preditos.

Figura 14 – Valores experimentais versus previstos, para ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor (2021).

O gráfico dos valores experimentais versus preditos, como mostra a Figura 14, se observar, os dados estão bem distantes do modelo linear, ou seja, se o R^2 fosse acima de 95%, os dados estariam mais próximos do modelo com maior significância.

Portanto, na prática, pode-se trabalhar com quaisquer porcentagens dentro deste intervalo de porcentagem de substituição de cinzas, os valores são iguais (resposta positiva), pois ao invés de trabalhar com 2,15%, pode-se trabalhar com 12,85%, economizando nos processos. O R^2 deu baixo justamente por que seus valores originais, sendo os valores do y_1 muito próximos, então não teve uma divergência alta, sendo o y_2 também bem próximos, ou seja, a variável x_1 não teve diferença significativa – tanto faz trabalhar com os níveis -1,19 e +1,19. Termo de economia mais alto.

Para fins demonstrativos, supondo a utilização de 500 kg de cimento para uso em concreto estrutural, sendo 12,85% a substituição parcial de cimento por cinzas da casca de arroz, resulta em 64,25 kg de cinzas. Com isso, aproximadamente mais de 1 saco de cimento tanto de economia financeira quanto na diminuição dos impactos ambientais.

4.3. Comportamento físico: abatimento de tronco de cone – *Slump Test*

Quando se trata de comportamento físico em relação ao abatimento de tronco de cone – *Slump test*, os resultados dos ensaios do planejamento experimental pelo modelo de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados do ensaio de abatimento de tronco de cone – *Slump Test*

Ordem experimental	Fator	Resposta	Abatimento do tronco de cone – <i>Slump test</i> , em cm
	% de cinzas substituídas pelo cimento (x_1)	Abatimento do tronco de cone, em cm (y_2)	
1	3	8,5	
2	12	10,0	
3	2,15	8,2	
4	12,85	12,5	8,0 ± 2,0*
5	7,5	9,7	
6	7,5	9,3	
7	7,5	9,5	

* Abatimento do tronco de cone – *Slump test*, em cm, do traço de referência

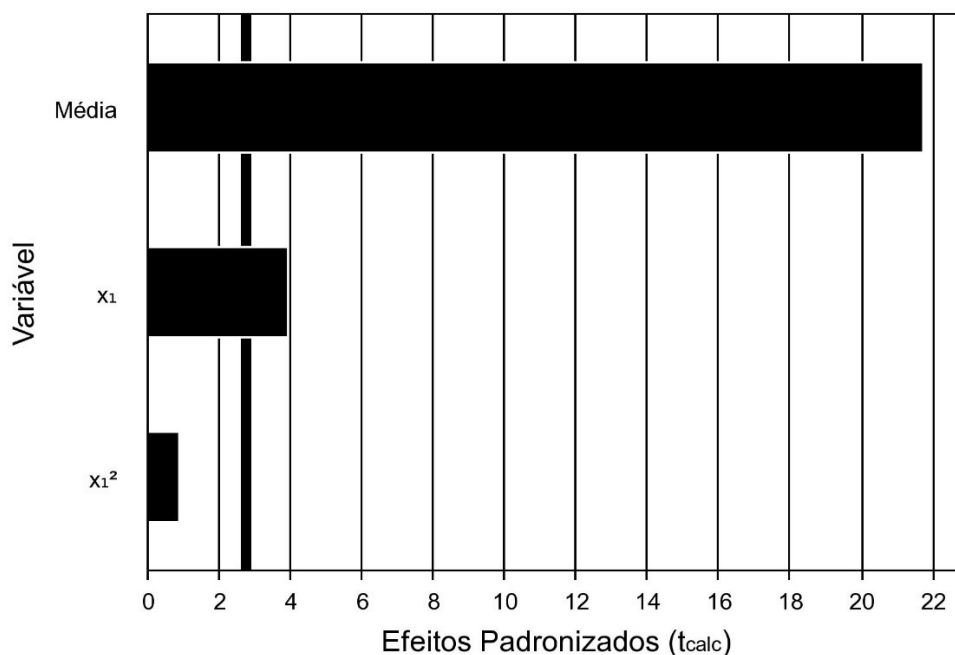
Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 9, pode-se observar que o maior valor de abatimento de tronco de cone do concreto, quando se trata na significância estatística, foi identificado no ensaio 04, com 12,85% de substituição de cinzas por cimento, com resultado de 12,5 cm, contraposto o menor valor do comportamento físico de abatimento de tronco de cone foi no ensaio 03, com 2,15% de substituição de cinzas por cimento, com resultado de 8,2 cm.

Na mesma tabela, para melhor compreensão dos resultados, foi inserido um valor do comportamento físico de abatimento de tronco de cone de um traço referência, no qual não possui nenhum tipo de substituição do aglomerante cimento no concreto, valor este que foi retirado seguindo os mesmos procedimentos dos demais ensaios, de $8,0 \pm 2$ cm, a partir da normativa. Quando comparado com traço de referência, pode-se observar que os resultados foram bastante satisfatórios, mas com o aumento do valor do abatimento assim que aumenta a proporção de cinzas pelo cimento no concreto, apresentou diminuição da resistência à compressão.

Posteriormente, com os resultados obtidos, foi possível fazer a análise estatística, considerando a variável de substituição de cinzas pelo cimento, em porcentagem. O que gerou análises de diagrama e gráficos, como o Diagrama de Pareto, com 5% de incerteza e 95% de confiança, na Figura 15, que mostra x_1 com significância estatística, evidenciando acima da linha de significância e x_1^2 não obteve significância estatística, evidenciando abaixo da linha de significância.

Figura 15 – Diagrama de Pareto para o ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2021).

Analisando o Diagrama de Pareto, apresentou um resultado mais considerável, melhor, apresentando x_1 mais significativo, com efeito positivo estatisticamente, ou seja, aumentando a proporção de teor de cinzas pelo cimento de 2,15% até 12,85%, aumentando o nível, aumenta os valores de *Slump test*. Apesar de estatisticamente ser positivo, na prática o resultado foi negativo, visto que, quanto maior o valor do abatimento, percebe-se a redução de resistência mecânica à compressão.

A Tabela 10 mostra os coeficientes a um nível de significância de 90%. O que mostra valores ainda altos, mesmo com valor de x_1 significativo, não sendo estatisticamente significativos (como mostra no Diagrama de Pareto).

Tabela 10 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de abatimento de tronco de cone – *Slump Test*

Fator	Coeficiente	Erro padrão	t calculado	p-valor
Média	30,27	2,01	15,03	0,0001
X_1	-3,41	1,62	-2,11	0,1026
$X_1.X_2$	-0,76	2,18	-0,35	0,7458

Fonte: Autor (2021).

Obtendo a partir da matriz codificada os coeficientes de regressão, foi possível escrever o modelo que descreve o abatimento de tronco de cone – *Slump test* juntamente com a quantidade de substituição de cinzas pelo cimento, conforme Equação 2.

$$Y_2 = 9,39 + 1,37 x_1 + 0,40 x_1^2 \quad \text{Equação 2 – Regressão Linear}$$

Em que x_1 é a porcentagem de cinzas substituídas pelo cimento.

A Tabela 11 mostra a ANOVA (*Analysis of Variance*) para o comportamento físico de abatimento de tronco de cone.

Tabela 11 – ANOVA, para o ensaio de tração na flexão

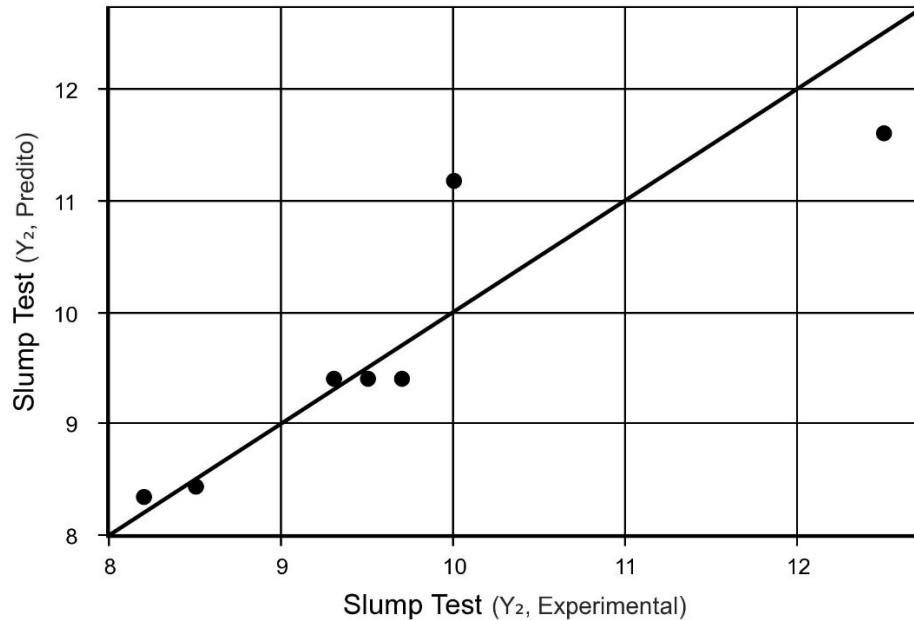
Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	Fcalculado	p-valor
Regressão	9,5	2	4,7	8,2	0,03861
Resíduos	2,3	4	0,6		
Falta de ajuste	2,2	2	1,1	28,0	0,03446
Erro puro	0,1	2	0,0		
Total	11,8	6			

$R^2 = 80,35\%$

Fonte: Autor (2021).

O gráfico na Figura 16 apresenta a comparação entre os resultados observados e preditos.

Figura 16 – Valores experimentais versus preditos para ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2021).

O gráfico dos valores experimentais versus preditos, como mostra a Figura 16, se observar, os dados estão bem melhores que o de resistência mecânica à compressão, mas distantes do modelo linear, ou seja, apesar do R^2 ter sido mais alto, não foi acima de 95%, ou seja, os dados estariam mais próximos do modelo com maior significância.

Portanto, na prática, pode-se trabalhar com as porcentagens dentro do intervalo de porcentagem de substituição de cinzas, sendo os valores considerados positivos (resposta positiva), pois ao invés de trabalhar com 2,15%, pode-se trabalhar com até 12,00%, economizando nos processos, atingindo o abatimento de tronco de cone permitido por norma de até 10 cm. O R^2 deu um pouco melhor, quando comparado com a resistência mecânica à compressão, justamente por que seus valores originais, sendo os valores do y_2 também próximos.

Para fins demonstrativos, supondo a utilização de 500 kg de cimento para uso em concreto estrutural, sendo 12,00% a substituição parcial de cimento por cinzas da casca de arroz, resulta em 60,00 kg de cinzas. Com isso, aproximadamente mais de 1 saco de cimento tanto de impacto financeiro na obra quanto na diminuição dos impactos ambientais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou que os resultados do desempenho físico de abatimento de tronco de cone e mecânico de resistência à compressão, quando se trata estatisticamente, mostraram que não foram muito significativos, mas quando tratando na prática, os resultados foram bem positivos. Assim, podendo ser uma alternativa benéfica perante a sustentabilidade, em relação a quantidade de cimento consumida, como também no uso técnico do concreto. Sem falar que o concreto com adição das cinzas da casca de arroz pode ter amplo lugar no mercado da construção civil.

No âmbito da sustentabilidade, é usado a cinza como substituto parcial do cimento, sendo esta maneira além de focar no reaproveitamento do resíduo também ajuda na diminuição do fator clínquer, sendo assim a segunda forma mais sustentável e ecologicamente correto. Tendo em vista o potencial pozolânico destas cinzas geradas na queima de biomassa, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com aplicação destas em substituição parcial do cimento Portland e tem como maior objetivo uma redução no consumo de cimento, visando a diminuição do fator clínquer. ALBERNAZ (2019).

Sobre os ensaios iniciais de caracterização físico-químicas dos materiais, tiveram valores resultantes positivos e congruentes, o que aconteceu um pouco diferente no desempenho físico e mecânico, mas com boa relevância para a construção civil.

O comportamento mecânico à compressão do concreto foi bastante considerável para os corpos-de-prova que continham as cinzas quando comparados com os de referência. Pode-se destacar a maior resistência à compressão no ensaio 01, com 3% de substituição de cinzas por cimento aos 28 dias de cura úmida por imersão, com resultado médio de 37,89 MPa, entretanto a menor resistência mecânica à compressão resultante foi no ensaio 04, com 12,85% de substituição de cinzas por cimento aos 28 dias de cura úmida por imersão, com resultado médio de 24,37 MPa. Quando comparado com o traço de referência, com resultado de 29,94 MPa, os resultados foram medianamente atingidos, mas quando comparado com a normativa, com classe do concreto da NBR 8953 – Concreto para fins estruturais, para classe de agressividade II, Concreto Armado (CA) ≥ 25 , apresentou resultados melhores.

O comportamento físico do abatimento de tronco de cone – *Slump test*, estatisticamente obteve resultados significativos, com o maior valor de abatimento de tronco de cone do concreto, foi identificado no ensaio 04, com 12,85% de substituição

de cinzas por cimento, com resultado de 12,5 cm, contraposto o menor valor do comportamento físico de abatimento de tronco de cone foi no ensaio 03, com 2,15% de substituição de cinzas por cimento, com resultado de 8,2 cm. Quando comparado com traço de referência, pode-se observar que os resultados foram bastante satisfatórios, mas com o aumento do valor do abatimento assim que aumenta a proporção de cinzas pelo cimento no concreto, apresentou diminuição da resistência à compressão.

Portanto, os objetivos específicos deste presente trabalho foram realizados e analisados a partir do comportamento físico e mecânico do concreto a partir da adição de cinzas de casca de arroz. Este sendo utilizado como matéria prima proveniente da queima da casca de arroz, que na substituição parcial do cimento *Portland* no concreto, mesmo não apresentando tanta relevância estatística, mostrou boa relevância na construção civil, se tratando de concreto estrutural que atingiu boas resistências, como também gera pontos positivos perante ao aspecto sustentável, além também tendo como efeito paralelo o benefício no aspecto financeiro, quando comparado dos os valores normativos de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERNAZ, Matheus. **Emprego de resíduos de biomassas oriundos de queima de cerâmica vermelha em substituição parcial do cimento *Portland* em concreto convencional.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP): **Guia básico de utilização do cimento *Portland*.** São Paulo, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP.** Manual de Revestimentos de Argamassa. São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653:** Concreto – Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991b. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5736:** Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991a. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5739:** Concreto Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:** Determinação da determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7225:** Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993. 5 p.

ASTM D 3173-87. **Standard method for determination of moisture content in biomass;** 2003.

BLATT, Gabriela. **Análise da influência da cinza de casca de arroz nas propriedades do concreto.** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI, 2016.

CARASEK, Helena et al. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento.** *Matéria* (Rio de Janeiro), [s.l.], v. 21, n. 3, p.714-732, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160003.0068>.

DEMIS, S.; TAPALI, J.g.; PAPADAKIS, V.g.. An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 68, p.291-300, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.071>.

EMBRAPA. Novembro, 2008. **Informações Técnicas para a Cultura do Arroz Irrigado no Estado do Tocantins: Safra 2008/2009**, Santo Antônio de Goiás, GO, 2008.

FIORATTI, Netúlio, 2018. **Dosagem de concreto – Método ACI.** Disponível em: < http://netulio.weebly.com/uploads/9/0/6/6/9066781/trabalho_2o_bim_-_roteiro_dosagem_mtodo_aci.pdf> Acesso em: 20 nov. 2021.

GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca do arroz como material pozolânico.** 1989. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

Japanese Industrial Standard. JIS K 1474 – **Test methods for activated carbon.** **Japanese Standards Association**, Tokyo, 1992.

LUDWIG, Lucas. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz.** Centro Universitário Univates Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2014.

NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; DAMATTY, E. L.; **Performance of Rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete.** *Cement and Concret Research*, 2003, p. 1203-1209. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00038-3)

NETO, Celso. **Análise física e mecânica de argamassas enriquecidas com cinza de carvão vegetal, em benefício à sustentabilidade.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2020.

PATEL, M. KARERA, A.; PRASANNA P. **Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk.** *Journal of Materials Science*. 22. 1987. P. 2457-2464. DOI: 10.1007/BF01082130

PETRUCCI, Eladio G. R.; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1998. 307 p.

PILECO NOBRE. **Gráfico**. Disponível em: <<http://www.pilecco.com.br/site/img/Sustentabilidade/grafico.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2021.

PLANETA ARROZ. **Tem que ter os dois**. Porto Alegre, v. 13, n. 42, pg. 32-33, maio, 2012.

POUEY, M. T. F.. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

RECENA, Fernando A. Piazza; SERRA, Geraldo G. **Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: EdiPucrs, 2002. 166 p.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas SP, 2008.

RECENA, Fernando A. Piazza; SERRA, Geraldo G. **Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: EdiPucrs, 2002. 166 p.

SAMPAIO, J.; COUTINHO, J. S.; SAMPAIO, M. N.; **Portuguese Rice Husk Ash as a Partial Cement Replacement**, Portugal, 2000.

SANTOS, C. E. et. al.. **Anuário Brasileiro do Arroz**. Editora Gazeta Santa Cruz. Santa Cruz do Sul-RS, 2012. 128 p.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolâna com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese de doutorado, PECV UFSC Florianópolis, Brasil 2006, 267 p.

SILVA, A. V. R.; DINIZ, H. A. A.; RIBEIRO, J. A. E.; OLIVEIRA, S. S.. **Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades**. 2011. 8 p. Disponível em: <<http://propri.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/2954/2183>>. Acesso em: 14 jun 2021.

SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil/28**. Porto Alegre-rs, 2010. 188 p

SUPREMO CIMENTOS. **Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. Disponível em: <http://www.supremocimento.com.br/site/Supremo-Cimento/CPV-ARI.asp?it=3_3>. Acesso em: 19 jun. 2021.

TIBONI, Rafaelle. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ZUCCO, L L. Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas. 2007. 417 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.