



INSTITUTO FEDERAL

Goiano
Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA

JULIANA NOGUEIRA GUIMARÃES

**Rio Verde, GO.
2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
ENGENHARIA CIVIL**

**A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

JULIANA NOGUEIRA GUIMARÃES

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Co-orientador: Gilmar Fernando de Melo Junior

Rio Verde – GO
Fevereiro, 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

G963 Guimarães, Juliana Nogueira
A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA /
Juliana Nogueira Guimarães; orientador Marconi
Batista Teixeira ; co-orientador Gilmar Fernando de
Melo Junior. -- Rio Verde, 2022.
36 p.

TCC (Graduação em ENGENHARIA CIVIL) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Sustentabilidade . 2. Construção sustentável.
3. Compósitos cimentícios. 4. Impacto ambiental. I.
Teixeira , Marconi Batista, orient. II. Melo Junior,
Gilmar Fernando de, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Juliana Nogueira Guimarães

Matrícula: 2015202200840084

Título do Trabalho: A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☐ Não ☒ Sim, justifique: A pesquisa desenvolvida no Trabalho será solicitado registro de patente, por esse motivo é necessário ser restrito o acesso.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 08/04/2022

O documento está sujeito a registro de patente? ☒ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 05 de abril de 2022

Juliana Nogueira Guimarães

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

José Carlos Batista Teixeira

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 4/2022 - CCMDAGRO-R/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 04 dias do mês de março de 2022, às 19:00 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Marconi Batista Teixeira (orientador), Lorrان Ferreira Oliveira (membro) e Charles Pereira Chaves (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA” da estudante Juliana Nogueira Guimarães, Matrícula nº 2015202200840084 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Lorrان Ferreira Oliveira

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Charles Pereira Chaves

Membro

Observação: o orientador, neste ato, assina em nome do Eng. Civil Lorrان Ferreira Oliveira (membro externo).

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Charles Pereira Chaves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/03/2022 17:56:57.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/03/2022 17:44:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/03/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 365064
Código de Autenticação: 54203c0a92



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, que por sua infinita bondade me concedeu saúde e sempre esteve comigo em todos os momentos.

Aos meus pais, Eduardo e Adriana, que lutaram desde o início e sempre buscaram me apoiar em todas as decisões. Ao meu irmão, Denner que mesmo de longe sempre buscou estar presente em todos os momentos me incentivando a dar sempre o meu melhor, eu amo muito vocês.

Aos meus amigos de graduação, Kamila, Juliemilly, Caroline e Ana Clara que participaram comigo de diversos momentos na vida acadêmica. Vocês têm um grande significado na minha vida.

Aos demais amigos, Bruna, Júlia, Letícia, Natália e Sara que dividiram alguns momentos que tornou o fardo mais leve, me ensinando a olhar sempre para o melhor lado de todas as situações. Sem vocês nesses últimos meses com certeza a dificuldade seria muito maior.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Marconi batista que desde 2017 vêm me orientando em diversos projetos, não tenho palavras para descrever a gratidão que tenho por tudo que fez por mim, por todo o encorajamento para que essa etapa fosse concluída e os diversos ensinamentos que contribuíram diretamente na minha vida profissional e pessoal.

RESUMO

GUIMARÃES, Juliana Nogueira. **A INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZA DA CASCA DE ARROZ NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA: UMA REVISÃO LITERÁRIA**. 2022. 36p. Monografia (Curso Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, GO, 2022.

A construção civil é um setor que vem crescendo ao longo dos anos, sendo um dos principais responsáveis pelo esgotamento e o aumento dos impactos ao meio ambiente. As indústrias cimenteiras são responsáveis por contribuir pela emissão de 5% CO₂ mundial, além dos demais poluentes que são liberados durante o processo de fabricação do cimento, colaborando diretamente com o aumento do efeito estufa. No decorrer dos anos diversos pesquisadores tem buscado estudar maneiras para reduzir esses impactos, uma delas é por meio da substituição parcial do cimento Portland por materiais pozolânicos alternativos com o intuito de diminuir o consumo de cimento e ampliar as propriedades mecânicas do produto, podendo ser aplicado os resíduos agroindustriais que em diversos momentos são descartados incorretamente. Assim, o presente trabalho busca reunir diversos estudos, sendo no final elaborado um estudo de caso que busca apresentar a redução do consumo de cimento e a viabilidade econômica em se utilizar a cinza da casca de arroz (CCA). Para tal fim, utilizou-se a CCA obtida em uma Usina Termo Elétrica localizada no município de São Sepé – RS, que gera energia elétrica por meio da queima da casca de arroz, ao qual foi aplicado uma substituição de 15% do cimento para a produção de argamassa em construções residenciais, sendo que essa porcentagem adotada apresentou melhor resultado no ensaio de resistência à compressão.

Palavras-chave: sustentabilidade, construção sustentável, compósitos cimentícios, impacto ambiental.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Casca de arroz proveniente da colheita do arroz in natura, (b) CCA com alto teor de carbono e (c) CCA com menor teor de carbono.	14
Figura 2 - Processo de produção do cimento Portland	16
Figura 3 - Usina Termoelétrica São Sepé	26
Figura 4 - Usina Termoelétrica São Sepé	27
Figura 5 - Casca de arroz para movimentação do gerador.....	27
Figura 6 - Conjunto turbo gerador da UTE	28
Figura 7 - Cinza retirada do local de armazenagem da UTE.....	28
Figura 8 - Planta baixa e perspectiva 3D da residência unifamiliar	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de queima para variação de sílica da CCA.....	15
Tabela 2 - Comparação da composição química da análise de fluorescência de raio –X realizada pelos autores Della e Pereira.	15
Tabela 3 - Cimentos Portland comercializados no Brasil	17
Tabela 4 - Classificações dos materiais pozolânicos	18
Tabela 5 - Propriedades químicas e físicas dos materiais pozolânicos.....	19
Tabela 6 - Propriedades físicas da CCA “in natura”, quando submetidas à moagem por 2,4,6,8,12,20 e 24 horas.....	23
Tabela 7 - Composição química das amostras CCA encontradas em diferentes tratamentos, por vários autores.....	24
Tabela 8 - Resistência à compressão	25

LISTA DE ABREVIações, SIGLAS OU SÍMBOLOS

SNIC	Sindicato Nacional da Indústria de Cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTE	Usina Termoeletrica
CCA	Cinza de Casca de Arroz
CA	Casca de Arroz
CO ₂	Dióxido de Carbônico
SiO ₂	Dióxido de Silício
O ₂	Oxigênio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro
CaO	Óxido de Cálcio
MgO	Óxido de Magnésio
K ₂ O	Óxido de Potássio
Na ₂ O	Óxido de Sódio
MnO	Dióxido de Manganês
SiO ₂	Dióxido de Silício
TiO ₂	Dióxido de Titânio
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CaOH ₂	Hidróxido de Cálcio
SO ₃	Óxido Sulfúrico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
C-S-H	Silicatos de Cálcio Hidratados
pH	Potencial Hidrogeniônico
HCl	Ácido Clorídrico
C ₃ S	Silicato Tricálcico
FRX	Análise de Fluorescência de raio-X

min	Minutos
d	Dias
t	Tempo
%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
l	Litro
g	Grama
MPa	Mega Pascal
mm	Milímetro
mg	Miligrama
kg	Quilograma
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
kWh	Quilowatt-hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Aplicação dos resíduos agroindustriais na construção civil.....	12
2.2 Arroz	12
2.3 Cinza da casca de arroz	13
2.4 Cimento Portland e seus impactos ambientais	16
2.5 Atividade pozolânica da cinza da casca de arroz.....	18
2.5.1 Métodos para determinar índice de atividade pozolânica	21
2.6 Tratamentos físicos, térmicos e químicos na CCA	22
2.6.1 Tratamento físico da CCA.....	22
2.6.2 Tratamento térmico da CCA.....	22
2.6.3 Tratamento químico da CCA	23
2.7 Cinza da casca de arroz como substituição parcial do cimento Portland.....	24
3. METODOLOGIA CIENTÍFICA	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, o meio ambiente está sendo tratado como um depósito infinito de matérias primas com o aumento da extração combinado com o despejo incorreto dos resíduos, vários produtos que antes eram encontrados com abundância estão sendo escassos. A falta de consciência ambiental juntamente com a pouca fiscalização, estão colaborando com o aumento do índice dos impactos ambientais. Buscando restringir os impactos negativos gerados pela construção civil ao meio ambiente, o homem tem desenvolvido estudos com alternativas de materiais que sejam capazes de reduzir a emissão de poluentes e preservar os recursos naturais (SHI, 2007).

A grande parte dos resíduos sólidos são gerados dentro do setor da construção civil, sendo que a maioria provém de argamassas e concretos, desse modo, incorporar um material dentro da produção da argamassa, é buscar dar uma destinação final apropriada para os resíduos, sendo que a argamassa é uma mistura que possui um alto potencial para incorporar diversos resíduos, amenizando os impactos ambientais gerados por esse setor (SARAIVA, 2007).

Dentro da construção civil o cimento é um dos materiais mais empregados, e com o avanço desse setor o uso demasiado do cimento Portland vem gerando inúmeras preocupações ambientais. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), no ano de 2020 a produção nacional de cimento foi cerca de 60,8 milhões de toneladas e comparando com 2019 na qual ocorreu um aumento de 19%, mesmo em um cenário de grande aumento de custo no processo de produção. Já em outubro de 2021, comparando com o mesmo mês de 2020, ocorreu um crescimento de 3 % e a expectativa é que ao final de 2021 alcance um crescimento de 9,7% (POUEY, 2006).

Entretanto, no processo de produção do cimento utiliza-se uma grande quantidade de energia associada com um alto índice do aumento do efeito estufa devido à calcinação do calcário e a utilização de combustível fóssil, sendo que as cimenteiras são responsáveis por emitir 5% do dióxido de carbono (CO₂) mundial, além de liberar outros produtos poluentes como, óxido de enxofre, monóxido de carbono, entre outras substâncias (LOPES, 2011).

Neste contexto, como forma de reduzir esses problemas, diversos estudos vêm sendo realizados com o intuito de aplicar um material alternativo que além de trazer benefícios econômicos e ecológicos, amplie o desempenho das características técnicas da argamassa produzida com o cimento Portland (LUDWIG, 2014).

Os resíduos na agroindústria têm gerado uma grande preocupação, sendo que o seu descarte incorreto vem ocasionando vários problemas ao meio ambiente, impactando de

maneira negativa o solo, a água e o ar. Atualmente, pesquisas relatam sobre a importância da reutilização dos resíduos agroindústrias como forma de reduzir os danos ambientais, pois, a poluição do solo é capaz de modificar diversas características físico-químicas e gerando diversas ameaças à saúde da sociedade. Por esse motivo, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos em busca da aplicação de novos materiais que tenham características físicas e mecânicas, semelhante aos encontrados no mercado (SANTOS, 2006)

Ao longo dos anos, há diversas pesquisas que buscam abordar o aproveitamento da cinza da casca de arroz (CCA) na substituição parcial do cimento Portland no processo de confecção de argamassas e concretos, pois as cinzas oriundas do setor agroindustrial, apresentam um grande teor de dióxido de silício (SiO_2) também conhecido como sílica, utilizado como material pozolânico, o aproveitamento da CCA é de grande importância para o meio ambiente, na qual leva em consideração que seu descarte incorreto ocasiona o aumento da poluição, por apresentar um grande índice de liberação de carbono no seu processo de queima (BEZERRA, 2010).

Os objetivos gerais deste trabalho é analisar as pesquisas que foram realizadas ao aplicar à substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de arroz nos estudos desenvolvidos durante os últimos anos, na qual buscou-se apresentar os principais resultados e seus benefícios. Em seguida foi desenvolvido um estudo de caso apresentando as vantagens da utilização da argamassa enriquecida com cinza de casca de arroz em uma construção residencial de 70 m² de área construída, levando em consideração a viabilidade econômica, aspectos técnicos e ambientais. Os dados do consumo de argamassa foram disponibilizados por uma empresa do município de Rio Verde – GO.

Tendo como objetivos específicos através da revisão de literatura buscou-se apresentar os resultados de avaliações das características físicas e químicas CCA. Analisou-se os resultados mecânicos encontrados na argamassa produzida com substituição por CCA, foi analisado os métodos de determinação do índice de atividade pozolânica, os diferentes tratamentos térmicos, foi analisado a aplicabilidade da cinza em uma construção residencial e foi verificado os impactos ambientais e econômicos gerados através da substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os resíduos agroindustriais são classificados como uma grande fonte de matérias-primas, na qual são aplicados como fertilizantes, combustíveis e estabilizantes de solos. De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o arroz é considerado um dos cereais mais consumidos no mundo. Na última safra brasileira 2020/2021 o arroz teve uma produção cerca 11,741 milhões de toneladas, um crescimento de 5% em relação a 2019/2021. Com isso, será apresentado as características da cinza da casca de arroz e a importância da reciclagem dos resíduos agroindustriais, já que a casca de arroz não possui nenhuma destinação específica, podendo ter sua aplicabilidade em materiais da construção civil e colaborando para a preservação do meio ambiente,

2.1 Aplicação dos resíduos agroindustriais na construção civil

A aplicação de materiais reciclados no setor da construção civil tem se tornado uma das opções mais utilizadas atualmente. Isso ocorre devido ao grande aumento na geração de resíduos desse tipo, e muitos pesquisadores têm sido atraídos a criarem ideias para reutilizá-los e agregar valor a eles, de modo a evitar o descarte incorreto (SHI, 2007). Segundo Santos (2009) diversos subprodutos gerados na indústria, como, sílica ativa, cinza volante e escória granulada de alto forno, foram estabelecidos como materiais complementares do cimento. Esses subprodutos incorporados ao cimento tradicional em alguns casos não estão disponíveis em todas as regiões, e o custo para realizar o transporte se torna bastante elevado.

As cinzas são formadas através do processo de queima de outros resíduos, ou de processos advindos do setor agroindustriais, na qual pode ser citada por exemplo a cinza do bagaço de cana de açúcar e cinza da casca do arroz. Ambos são resíduos queimados para obtenção de energia, com um alto índice de pozzolanicidade, e os materiais pozzolânicos agregado em argamassas e concretos, tem como função reduzir o ataque químico, melhorar a trabalhabilidade, durabilidade à fissuras e aumentar a resistência mecânica (LUDWIG, 2014).

Segundo Lima (2008), a utilização desses resíduos agroindustriais tem como função contribuir para a preservação do meio ambiente, com a redução da quantidade de energia aplicada na produção de componentes utilizados na construção civil e gera um impacto diretamente na diminuição dos custos dos processos de fabricação.

2.2 Arroz

Segundo Santos (2009), o arroz é considerado uma variedade que tem grande capacidade de se adaptar às diversas condições ambientais expostas sendo elas climáticas e de

solo, e no Brasil as áreas que são mais cultivadas são as que possuem solos de terras altas sendo classificadas como latossolos, argissolos e nitossolos, pois tem grande potencial de acúmulo de água e que correspondem aproximadamente a 59% do território nacional.

O arroz é considerado o segundo cereal mais produzido no mundo, ao qual é cultivado por cerca de 120 países em diversos continentes. Em comparação global a Ásia, é responsável pela produção de 90% do arroz mundial, e o Brasil é o país que mais produz do continente americano (SARAIVA, 2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Brasil é considerado um dos 10 maiores produtores de arroz do mundo, a estimativa de produção da última safra foi de 11,61 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul é considerado um dos maiores produtores de arroz do país, sendo responsável por mais de 50% da produção nacional, o estado de Goiás na safra de arroz 2020/2021 foi responsável pela produção de 8,7% que corresponde 130,0 mil toneladas do grão.

2.3 Cinza da casca de arroz

A casca de Arroz (CA) é considerada um subproduto derivado do plantio de arroz e na sua fase de crescimento é possível encontrar sílica (SiO_2) oriunda do solo. Dependendo das condições climáticas e fertilizantes essa porcentagem de sílica presente na casca de arroz poderá apresentar variações (POUEY, 2006).

No Brasil é possível encontrar diversos problemas interligados com o depósito da CA e nos últimos anos é realizado o seu aproveitamento como material energético em sistemas de combustão e em fornos para o processo de produção do clínquer, material aplicado na fabricação do cimento. Mas, o resultado desse reaproveitamento apresenta uma porcentagem pequena, apenas 30% da casca de arroz queimada gera um novo produto, a cinza da casca de arroz (CCA), esse processo pode ser realizado por meio de fornalhas, queima em espaços aberto e em fornos que tenham sua temperatura controlada (LUDWIG, 2014).

As características químicas, mineralógicas e morfológicas encontradas na cinza da casca de arroz, está diretamente relacionada as condições de queima da casca de arroz sua composição química apresentam cerca de 96 a 98% de sílica (SiO_2). Segundo Fonseca (1999), a sílica é classificada como um composto químico que possui propriedades que não podem ser alteradas, como, resistência mecânica e a ataques químicos, também possui um grande potencial em ser utilizada como matéria prima no setor da construção civil para a produção de cimentos, argamassas, concretos, porcelanas, entre outros materiais.

O processo de origem das cinzas da casca de arroz pode ocorrer através de três formas de combustão, sendo elas, queima ao céu aberto, leito fluidizado e fornalhas tipo grelha. Sendo que a combustão realizada de forma controlada se torna um procedimento eficaz para liberação da sílica da casca de arroz. Quando a cinza apresenta uma coloração preta está diretamente relacionada a quantidade de carbono em sua composição, contudo o material pode apresentar uma coloração branca ou púrpura estando diretamente relacionado as condições que foram realizadas a queima ou impurezas (POUEY, 2006). Conforme apresentada da Figura 1.



Figura 1 - (a) Casca de arroz proveniente da colheita do arroz in natura, (b) CCA com alto teor de carbono e (c) CCA com menor teor de carbono.

Fonte: Pouey, 2006

De acordo com Della (2005) as mudanças de temperatura e a variação de tempo aplicada, são fatores que influenciam diretamente no processo de queima da CA, impurezas tem à capacidade interferir na coloração da cinza e no teor de sílica amorfa ou cristalina. O resíduo gerado pela queima até 500 °C, apresenta grande quantidade de carbono tendo uma menor taxa de matéria orgânica e elevada quantidade de sílica amorfa, que possui em sua estrutura uma desorganização entre os átomos. Já a cinza que tem sua queima a partir de 750 °C, apresenta uma cor clara devido à oxidação dos carbonos e sendo constituída por uma sílica mais cristalina, ao qual tem-se uma organização estrutural entre o Oxigênio (O₂) e o Silício (SiO₂), na qual gera pequenos cristais (POUEY, 2006).

Metha (2008), realizou uma análise das formas estruturais amorfa e/ou cristalina encontradas durante o processo de queima da casca de arroz em diferentes condições de temperaturas como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de queima para variação de sílica da CCA

Temperatura de queima (°C)	Tempo (min e/ou h)	Ambiente de Combustão	Propriedades da CCA
			Estrutura da Sílica
500 - 600	1 min	Moderada oxidação	Amorfa
500 - 600	30 min	Moderada oxidação	Amorfa
500 - 600	2 h	Moderada oxidação	Amorfa
700 - 800	15 min	Moderada oxidação	Amorfa
700 - 800	30 min	Alta oxidação	Cristalina parcial
> 800	1 h	Alta oxidação	Cristalina

Fonte: Metha, 2008

As características físicas e químicas nas cinzas da casca de arroz variam com a região que é realizada o plantio, juntamente com as condições climáticas, o processo de colheita e as condições de queima que são empregados para obtenção da CCA. Pereira (2021) e Della (2001), realizaram análise de fluorescência de raio-X (FRX), onde buscaram apresentar as características químicas da cinza da casca de arroz produzidas em diferentes estados, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação da composição química da análise de fluorescência de raio –X Della e Pereira.

Óxidos	Amostra das CCA analisadas (%)	
	Rio Grande do Sul	Santa Catarina
SiO ₂	97,87	96,71
Al ₂ O ₃	0,13	0,09
Fe ₂ O ₃	0,06	0,01
CaO	0,5	0,02
MgO	0,74	0,01
K ₂ O	0,88	0,69
Na ₂ O	0,12	0,1
MnO	0,25	0,1
TiO ₂	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,71	0,23

Fonte: Della (2001) e Pereira (2021)

Conforme apresentado na Tabela 3, a composição química da cinza da casca de arroz pode ser influenciada dependendo da região de plantio, esta análise revelou que houve uma pequena variação do teor de dióxido de silício (SiO_2) de 1,16% encontrada na cinza. Já para o óxido de potássio (K_2O) e o óxido de sódio (Na_2O) e demais componentes químicos, que são considerados impurezas presentes, verificou-se uma variação inferior à 1%. A variação da quantidade de componentes químicos encontrados na cinza está diretamente relacionado ao teor de fertilizante, aplicado no momento do plantio, o tipo de solo e também a qualidade do arroz (PEREIRA, 2021).

2.4 Cimento Portland e seus impactos ambientais

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento é material fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que na presença de água ocorre uma reação química promovendo o endurecimento.

As propriedades do cimento estão relacionadas com a proporção dos materiais colocados dentro do processo de composição. A produção do cimento Portland, é formada basicamente de materiais carbonáticos (CaCO_3) e materiais argilosos à base de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3). O processo de fabricação, se inicia com a moagem da matéria prima e das adições de misturas em proporções adequadas. Em seguida, ocorre o processo de calcinação em forno rotativo com temperatura aproximada de 1450°C , é nessa fase que ocorre a mistura de materiais sobre fusão, produzindo, finalmente, o clínquer. Após a formação do clínquer, o mesmo é submetido em um processo de moagem para que atinja a granulometria adequada, menor que $75\ \mu\text{m}$, ao qual adicionada uma pequena quantidade de gesso e materiais corretivos que servem para suprir as necessidades de outros elementos que não são encontrados nas matérias primas principais (MOURA, 2018), conforme apresentado na Figura 2.

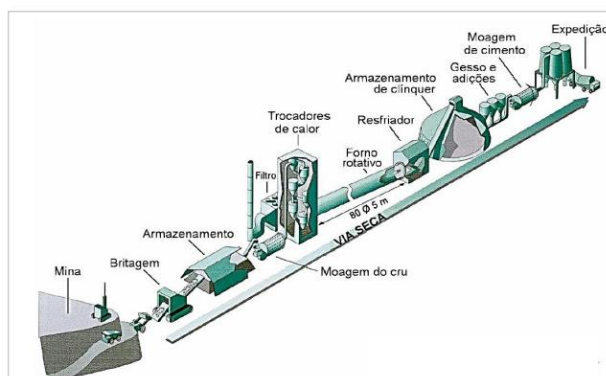


Figura 2 - Processo de produção do cimento Portland

Fonte: Queiroz, 2018

Segundo Lothenbach (2011), diversos materiais já estão sendo utilizados na substituição ao cimento, tais como escória de alto-forno, que é um subproduto da fabricação de ferro-gusa, cinzas volantes, que são resultados da combustão do carvão, entre outros materiais. O uso desses produtos, podem colaborar em diversos efeitos, por exemplo, no efeito de empacotamento granulométrico ou na reatividade da mistura fíler e/ou pozolânico, buscando ampliar as propriedades do cimento e colaborando na reutilização dos resíduos provenientes da indústria.

Ao longo dos anos, diversos tipos de cimentos foram desenvolvidos ao levar em consideração suas distintas aplicações na construção civil juntamente com suas respectivas variações na resistência à compressão simples. A Tabela 3 exemplifica os tipos de cimentos que são comercializados atualmente.

Tabela 3 - Cimentos Portland comercializados no Brasil

Tipos de Cimento	Siglas
Cimento Portland comum	CP-I
Cimento Portland comum com adição	CP I-S
Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z
Cimento Portland com escória	CP II-E
Cimento Portland composto com fíler	CP II-F
Cimento Portland de alto-forno	CP III
Cimento Portland pozolânico	CP IV
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V - ARI
Cimento Portland Branco	CP B
Cimento Portland de Baixo calor de hidratação	CP BC ^b
Cimento Portland resistente aos sulfatos	CP RS ^a

^a O sufixo RS (resistência a sulfatos) se aplica a qualquer tipo de cimento Portland.

^b O sufixo BC (baixo calor de hidratação) se aplica a qualquer tipo de cimento Portland.

Fonte: ABNT NBR 16697 (2018)

A indústria mundial do cimento Portland é responsável por produzir cerca de 2,2 bilhões de toneladas ao ano, sendo necessário uma grande quantidade de energia, além de lançar cerca

de 8% de CO₂ encontrado na atmosfera. No Brasil, a indústria de cimento, de acordo com a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção), é responsável por lançar 29,9% das emissões de CO₂ de processos industriais. Com base nesses dados, torna-se fundamental a necessidade de se utilizar um material que tenha um valor suplementar equivalente ao cimento Portland, com o intuito de amenizar os impactos ambientais oriundo da sua produção, colaborando com a vida útil da jazida de calcário que vem se deteriorando no decorrer dos anos Rêgo (2004).

2.5 Atividade pozolânica da cinza da casca de arroz

Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014), os materiais pozolânicos (ou materiais silicosos ou sílico aluminosos, que apresentam uma grande quantidade de SiO₂ ou Al₂O₃, tem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas quando estão em formato de partículas finas e sob a presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, no qual é compostos com propriedades aglomerantes. As pozolanas podem ser encontradas de forma natural, artificial, argilas calcinadas, cinzas volantes, e em outros materiais que não estão contemplados por nenhuma dessas definições, mas que possuem atividade pozolânica.

Na Tabela 4 serão apresentadas os três tipos de classes, que os materiais pozolânicos são classificados de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014).

Tabela 4 - Classificações dos materiais pozolânicos

Classificação	Definição
Classe N	Pozolanas naturais e artificiais que possuem certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.
Classe C	Cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas.
Classe E	Quaisquer pozolanas, não contempladas pelas classes citadas anteriormente.

Fonte: NBR ABNT 12653 (2014)

Contudo, os materiais pozolânicos devem trazer em sua composição propriedades químicas e físicas, como descritos na NBR 12653. Com isso, na Tabela 5 estão descritas as composições necessárias para que os materiais pozolânicos sejam estabelecidos.

Tabela 5 - Propriedades químicas e físicas dos materiais pozolânicos

Propriedades químicas	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70\%$	$\geq 70\%$	$\geq 50\%$
SO_3	$\leq 4\%$	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$
Teor de umidade	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$
Perda ao fogo	$\leq 10\%$	$\leq 6\%$	$\leq 6\%$
Álcalis disponíveis em Na_2O	$\leq 1,5\%$	$\leq 1,5\%$	$\leq 1,5\%$

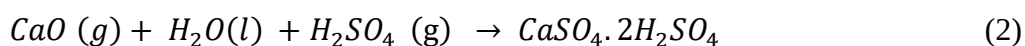
Propriedades físicas	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 μm	$\geq 20\%$	$\geq 20\%$	$\geq 20\%$
Desempenho do material com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$
Atividade pozolânica com cal aos 7 dias	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$	$\geq 6 \text{ MPa}$

Fonte: ABNR NBR 12653 (2014)

Rêgo (2004) descreve que é importante o material estar dentro da porcentagem mínima de silício (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3) determinados pela NBR 12653, pois esses três elementos são responsáveis pela reação com o hidróxido de cálcio (CaOH_2) que é liberado quando ocorre o processo de hidratação do cimento, formando os silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) considerado a principal fase do cimento Portland. O óxido sulfúrico (SO_3) descrito na Tabela 5 pode ser apresentado na quantidade máxima de 5%, visto que em contato com água (H_2O), é formado o ácido sulfúrico (H_2SO_4), conforme Equação 1.



O ácido sulfúrico é considerado um composto químico extremamente agressivo às matrizes cimentícias, como o cimento em sua composição apresenta uma grande quantidade de óxido de cálcio (CaO) na presença de água, forma o hidróxido de cálcio hidratado (CaOH_2) que em contato com o ácido sulfúrico produz o sulfato de cálcio em forma de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{SO}_4$) responsável pela resistência mecânica, Equação 2.



E com a presença deste composto, forma-se uma substância chamada etringita, conhecido como um óxido misto em cálcio, alumínio e ferro hidratado e essa substância é extremamente importante pois forma ligações químicas com diversas substâncias presentes no cimento, colaborando no processo de endurecimento.

De acordo com Mota (2020), para os resíduos agroindustriais sendo eles cinza do bagaço de cana de açúcar ou cinza da casca de arroz, não há um método definido para o ensaio de perda ao fogo que é um ensaio que busca analisar o dióxido de carbono que determina a coloração do material. E com isso adaptou-se a norma NBR NM 18 (ABNT, 2004), para a realização do ensaio, com o uso de 1 grama de CCA colocada em um cadinho de porcelana de massa conhecida e calcinou a amostra em um forno mufla à temperatura entre 900 °C e 1000°C, no período de 50 minutos. Após esse tempo, foi necessário esperar esfriar a amostra dentro da própria mufla e pesou-se novamente. E o ensaio de perda ao fogo foi determinado por meio da Equação 3 e o resultado expresso em percentual.

$$PF = \frac{(Mq - Ms)}{Ms} * 100 (\%) \quad (3)$$

Onde:

Ms: massa da CCA seca a 80°C (g)

Mq: massa da CCA submetida à temperatura de 950° por 50 min (g)

PF: perda ao fogo (%)

O resultado obtido durante este ensaio está diretamente relacionado a temperatura de requeima da cinza, pois quanto maior a temperatura durante a requeima, menor é a perda ao fogo, uma vez que ocorre a liberação de carbono em altas temperaturas e isso indica que a temperatura de requeima das cinzas gera grande impacto nas propriedades do material (SANTOS, 2006).

Conforme analisado por Santos (2006), em todas as classificações dos materiais pozolânicos a porcentagem de óxido de sódio (Na_2O) não pode ser superior à 1,5%, devido a formação de sulfatos de sódio (Na_2SO_4), na qual é indicado uma maior solubilidade em comparação aos sulfatos de cálcio, o que o torna mais “agressivo”.

Diversas pesquisas determinam o índice de atividade pozolânica das cinzas e determinam que os resultados encontrados estão de acordo com o estabelecido na NBR 12653. Segundo Kawabata (2008), o material estudado precisa estar em conformidade tanto nos requisitos químicos quanto características físicas, pois em diversos casos os requisitos químicos

estão corretos, porém as características físicas podem apresentar uma porcentagem baixa ou nenhuma de material amorfo, e quando isso ocorre não há atividade pozolânica, não sendo possível classificá-lo.

Quando a CCA não possuir nenhum índice de atividade pozolânica, o mesmo tem o potencial de ser utilizado como material inerte, será substituir parcial ou total ao agregado miúdo durante o processo de preparo da argamassa ou concretos. Santos (2011), determinou que o resultado sobre o uso de cinzas de casca de arroz tem como função melhorar o solo para fins agrícolas, corrige potencial hidrogeniônico (pH) e auxiliar em aumento de produtividade, com redução do impacto ambiental gerado quando ocorre o descarte irregular das cinzas.

2.5.1 Métodos para determinar índice de atividade pozolânica

A pozolanicidade de um material é determinada por meio de ensaios experimentais, e de acordo com Dafico (2001), os ensaios de índice de atividade pozolânica tem como função determinar a quantidade de substituição que pode ser feita por material pozolânico no processo de fabricação do cimento.

Conforme apresentados nas pesquisas desenvolvidas por Pouey (2006), Santos (2006) e Weber (2001), os principais métodos aplicados para analisar o índice de atividade pozolânica são:

NBR 5752/2014 – Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias: Esta norma descreve o método para determinação do índice de desempenho de material pozolânico com cimento Portland aos 28 dias, onde a quantidade de água empregada é estabelecida por meio do teste de consistência da argamassa, sendo necessário estar entre (225 ± 5) mm, sendo considerado um método físico de determinação do índice de atividade pozolânica. Segundo Weber (2001) este ensaio estabelecido pela NBR 5752/2014 apresenta limitações, pois o resultado encontrado pode sofrer interferências dependendo da composição do cimento aplicado. Pouey (2006), descreve que durante a realização do ensaio a relação água/aglomerante não é controlada, outro fator analisado é a substituição do cimento pela cinza da casca de arroz ser feita em volume, pois ambos os materiais possuem uma massa específica diferente.

Método Chapelle modificado: Estabelece o índice da atividade pozolânica de materiais através da determinação da fixação do hidróxido de cálcio, esse método é realizado por meio de análise química do material, sendo considerado um ensaio que foi feito em média por 16 horas. E segundo Santos (2006), encontrou um consumo de óxido de cálcio superior à 500 mg

CaO/g indicando que o material analisado pode ser utilizado como substituição ao cimento por apresentar um índice de atividade pozolânica.

Os dois ensaios citados acima são os mais usuais para analisar pozolanicidade de um material, porém ainda existem outros métodos como o de Fratini e Lúxan, sendo os dois métodos químicos.

2.6 Tratamentos físicos, térmicos e químicos na CCA

Os diferentes tratamentos aplicados nas cinzas têm como função obter sílica ativa e de impulsionar a determinação da atividade pozolânica do material.

2.6.1 Tratamento físico da CCA

O objetivo da aplicação do tratamento físico é reduzir o tamanho das partículas do material analisado, pois a granulometria influencia diretamente na atividade pozolânica e isso vem sendo feito por meio da moagem. Nas pesquisas realizadas por Cordeiro (2004), Rêgo (2001) e Dafico (2001) utilizou-se o moinho de bolas para realizar a moagem e o resultado obtido está na faixa de 7 a 8 μm e as diferentes temperaturas no processo de queima para obtenção da CCA influenciaram diretamente no tempo de moagem para encontrar uma maior pozolanicidade do material.

De acordo com Rêgo (2001) no moinho de bolas utilizou esferas que totalizavam o peso de 8 kg para cada 3 kg de CCA moendo dois tipos de cinzas diferentes. A moagem foi realizada a seco, no período de 8 horas e encontrou-se um diâmetro médio de 7,2 e 28,2 μm . Essa diferença é relacionada por causa das diferentes características de cada cinza, sendo que a cinza que foi encontrada com menor diâmetro apresentou um padrão de difração de raios X como amorfa, enquanto a cinza com o diâmetro maior um padrão cristalino.

2.6.2 Tratamento término da CCA

As diferentes temperaturas e choques térmicos aplicados tem como objetivo atingir algumas dessas funções, como: clarear as cinzas, aumentar a quantidade de sílica, diminuir o teor de carbono e das impurezas encontradas e manter as características presentes nas cinzas amorfas, é que a junção de mais de um tratamento apresenta resultados melhores, conforme determinado na pesquisa de Weber (2001).

Em sua pesquisa Weber (2001) associou dois tipos de tratamentos: o físico e o térmico. Primeiro foi determinado tempos de moagem de 2,4,6,8,12, 20 e 24 horas em um moinho de bolas, para moer CCA “in natura” e posteriormente empregado um tratamento térmico. Na Tabela 6, será demonstrado os resultados encontrados através de sua análise, onde se concluiu

que o maior tempo de moagem colabora para a redução do tamanho das partículas e o aumento da massa específica. Porém, após o período de 12 horas às variações apresentadas foram muito pequenas. É analisado o comportamento das cinzas tratadas termicamente observou-se maior massa específica, sofrendo maior redução das partículas com até 6 horas de moagem.

Tabela 6 - Propriedades físicas da CCA “in natura”, quando submetidas à moagem por 2,4,6,8,12,20 e 24 horas

Tempo de moagem (h)	Massa específica (g/cm ³)		Tamanho médio da partícula - µm	
	CCA “in natura”	CCA c/ Tratamento térmico	CCA “in natura”	CCA c/ Tratamento térmico
2	1,98	2,17	36,05	30,09
4	2,06	2,17	23,45	10,55
6	2,06	2,19	16,36	9,44
8	2,06	2,20	7,2	8,00
12	2,06	2,20	6,62	7,45
20	2,04	2,19	6,23	7,66
24	2,02	2,18	6,52	8,3

Fonte: Weber, 2001 (Adaptada)

2.6.3 Tratamento químico da CCA

O tratamento térmico consiste no banho químico que tem como objetivo aplicar os resultados obtidos em relação à cor e a quantidade de sílica, e eliminar as impurezas residuais encontradas em forma de óxidos através de reação química que ocorre com os ácidos e a matéria orgânica. Com isso, o banho em solução química ocorre seguido de tratamento térmico (Pouey, 2006).

Na Tabela 7 estão descritas a composição química da CCA submetidas a diferentes tratamentos, obtidas por duas pesquisas desenvolvidas por diferentes autores.

Tabela 7 - Composição química das amostras CCA encontradas em diferentes tratamentos, por vários autores.

Autores / Tratamentos	Composição em óxidos (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
<i>SOUZA (2000)</i>											
TQ - HCl*	98,94	0,08	0,06	0,001	0,05	0,75	0,01	0,10	0,01	-	-
TQ - HCl	99,69	0,06	0,05	0,001	0,03	0,05	0,01	0,10	0,01	-	-
TQ - HCl*	99,22	0,08	0,05	0,001	0,03	0,5	0,01	0,10	0,01	-	-
<i>KRISHNARAO (2001)</i>											
TT/ aqc. lento	90,2	0,268	0,029	0,107	0,027	0,069	0,101	2,120	-	0,470	2,39
TT/ aqc. rápido	89,8	0,291	0,040	0,117	0,033	0,063	0,089	2,580	-	0,430	2,29
TQ - HCl **	92,2	0,068	0,011	0,001	0,006	0,001	0,012	0,018	-	0,011	7,6
TQ - HCl **	92,3	0,060	0,083	0,003	0,002	0,001	0,015	0,013	-	0,005	6,8
TT – tratamento térmico TQ – tratamento químico PF – perda ao fogo					* - diferentes pressões ** - diferentes concentrações						

Fonte: Pouey, 2006 (Adaptada)

Com isso, os dados apresentados na Tabela 7, mostram que as cinzas da casca de arroz oriundas de tratamento químico com solução de ácido clorídrico (HCl), demonstraram um percentual de sílica alto de 99,69 %, menor teor de álcalis e baixa quantidade de impurezas em sua composição.

2.7 Cinza da casca de arroz como substituição parcial do cimento Portland

Ao longo dos últimos anos, muitos países como a Ásia, vem utilizando a cinza da casca de arroz amorfa como material cimentício para a produção de concretos e argamassas, devido ao seu grande índice de produção de arroz. Com isso, diversos pesquisadores do Brasil, estão desenvolvendo estudos abordando as propriedades e características da argamassa utilizando cinzas proveniente do setor agroindustrial, quando associados com materiais de qualidade juntamente com a dosagem correta para o preparo, torna-se propício para o aumento na resistência mecânica do produto, sendo que o cimento é o principal material emprego no processo de produção da argamassa e do concreto. Como o cimento é considerado quimicamente mais ativo, o mesmo contribui diretamente para realizar a união do agregado colaborando para que no final seja alcançado uma resistência apropriada (CABRAL, 2016).

Conforme descrito por Duart (2008), a argamassa preparada com substituição do cimento Portland por CCA tende a ter sua resistência aumentada, quando se compara com uma

argamassa padrão sem substituição. Isso ocorre, pois a cinza da casca de arroz é considerada um material pozolânico e reagindo com o hidróxido de cálcio é formado o silicato de cálcio hidratado, colaborando para um aumento na resistência, porém essa reação ocorre de forma mais lenta comparada com a reação de hidratação do C_3S do cimento.

Conforme descrito na Tabela 8, Lombardi (2019), realizou à análise de 4 tipos de argamassa. A primeira foi a de referência sem nenhuma substituição apenas cimento, areia e água, utilizando um traço de 1:3 (cimento: areia), com relação água/cimento de 0,48, sendo o mesmo estabelecido pela NBR 7215/96, e as demais argamassas produzidas, foram realizadas substituição de 15, 20, e 25%, e o mesmo concluiu que aos 28 dias houve um aumento na resistência à compressão da argamassa que teve a substituição de 15%, mesmo não sendo uma quantidade relativamente grande, já é possível associar a redução da poluição ambiental com a melhoria na resistência do material.

Tabela 8 - Resistência à compressão

Traço	Resistência à compressão (MPa)
Argamassa Referência	16,21
Substituição 15%	13,47
Substituição 20%	13,10
Substituição 25%	12,66

Fonte: Lombardi, 2019 (Adaptada)

De acordo com Cordeiro (2004), a CCA foi realizada sua queima nas temperaturas entre 700° à 800 ° C, sendo realizado um tratamento físico que tem como função reduzir o tamanho das partículas do material analisado, e que o mesmo foi obtido por meio do tempo de moagem para alcançar o diâmetro médio de 7,4 μm sendo necessário um período de 8 horas e a redução das partículas influenciam diretamente no aumento da atividade pozolânica da cinza quando o material é mais fino tem a tendência de absorver mais água.

3. METODOLOGIA CIENTÍFICA

O presente trabalho foi dividido em duas fases, sendo que na primeira fase foi apresentado os dados experimentais realizados por alguns pesquisadores, onde foram apontados os resultados físicos e químicos, após a realização de tratamentos e também mecânicos da argamassa depois de ser realizada a substituição parcial por cinza de casca de arroz. Na segunda etapa, foi desenvolvido um estudo de caso de uma residência, que foi demonstrado à viabilidade de utilizar a substituição parcial da CCA no cimento para produção de argamassa.

Todos os dados empregados para à revisão de bibliografia foram retiradas de artigos de periódicos, monografias, dissertações, teses, das normas técnicas brasileiras e também disponibilizados pela Usina Termoelétrica São Sepé (UTE), uma empresa do seguimento de geração de energia que fica localizada às margens da rodovia RS-149, no município de São Sepé – RS (figura 3).



Figura 3 - Usina Termoelétrica São Sepé
Fonte: <https://www.saosepe.rs.gov.br/> (2021)

A Usina Termoelétrica São Sepé produz energia elétrica através do aproveitamento da energia térmica obtida por meio da biomassa, foi inaugurada no ano de 2018 e sua geração de energia é de 56 milhões kWh/ano, conforme a média de consumo do nosso país, a energia produzida é suficiente para atender em torno de 25 mil residências ou uma cidade de aproximadamente 116 mil habitantes (essas informações foram disponibilizadas pela usina). A produção de energia é realizada por meio da queima da casca de arroz, sendo que a matéria prima é fornecida por oito empresas arroseiras do municio de São Sepé – RS (Figura 4).



Figura 4 - Usina Termoelétrica São Sepé
Fonte: UTE São Sepé (2018)

A casca de arroz (Figura 5) é utilizada como combustível para a central termoelétrica, produzindo um vapor que é responsável por acionar o conjunto de turbo gerador, que é composto por turbina, redutor de velocidade e gerador WEG, conforme demonstrado na Figura 6 e o vapor gerado no processo de queima da CA é utilizado para movimentar a turbina que aciona o gerador.



Figura 5 - Casca de arroz para movimentação do gerador
Fonte: UTE São Sepé (2021)



Figura 6 - Conjunto turbo gerador da UTE
Fonte: UTE São Sepé (2018)

O processo de geração de energia produz um subproduto que é a cinza de casca de arroz, a temperatura da queima é de 500° C na caldeira (Figura 7), um total de 12.441,6 mil toneladas/ano desse material. O produto resultante é destinado para a produção de cal mista por uma empresa de calcário da região e também insumos para a área de agricultura.



Figura 7 - Cinza retirada do local de armazenagem da UTE
Fonte: UTE São Sepé (2021)

Para realizar à análise da substituição parcial da CCA no processo de produção de argamassa, buscou-se determinar a quantidade de cimento empregado para construção de uma casa residencial térrea que possui um terreno de 125 m² e sua área construída de 70 m², conforme apresentado na figura 8. Entretanto, foi considerado uma substituição de 15% de todo cimento utilizado na argamassa para construção da residência, o valor foi adotado levando em consideração pesquisas analisadas.

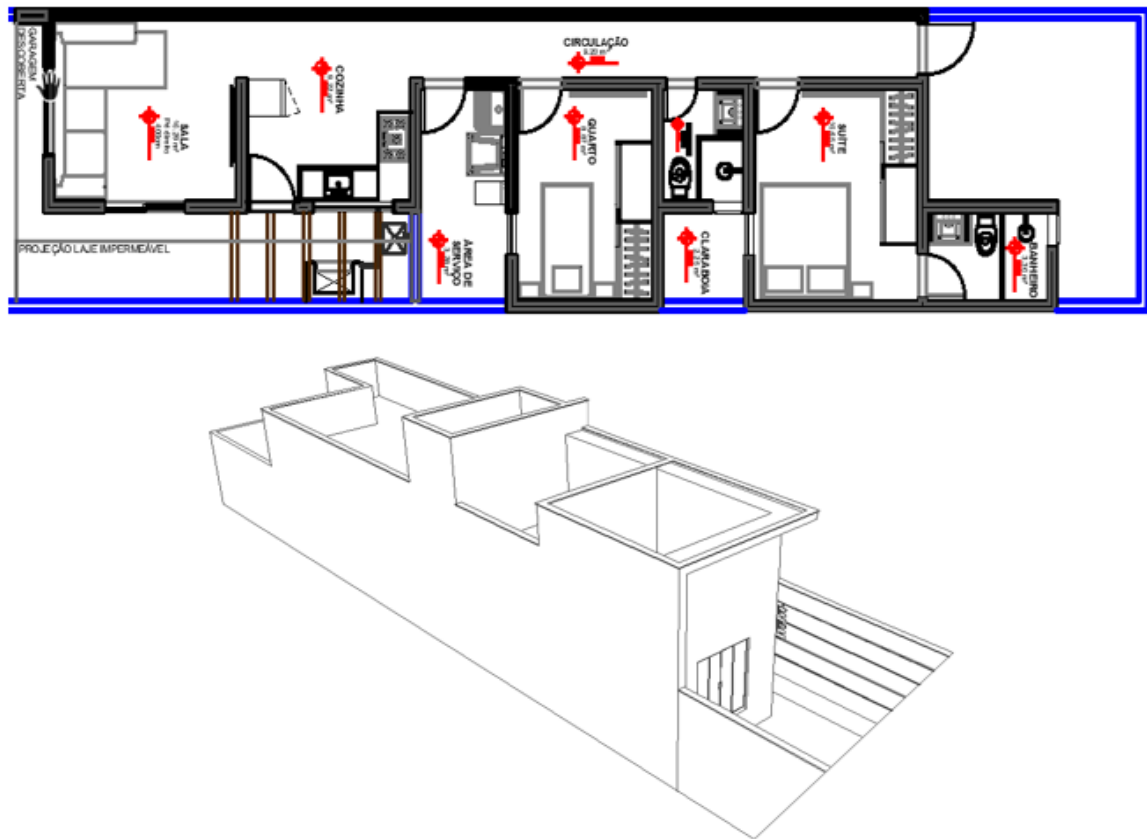


Figura 8 - Planta baixa e perspectiva 3D da residência unifamiliar
Fonte: Casa Verde (2021)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme informação disponibilizada pela Usina Termoeletrica de São Sepé, o resíduo originado da queima representa cerca de 16% do peso da casca de arroz, ao qual é um total de 160 quilogramas para cada tonelada de CA, por hora é utilizado 9 toneladas para movimentar as turbinas dos geradores e diariamente é empregado 216 toneladas de casca de arroz, produzindo cerca de 34.560 quilogramas por dia de CCA. (Equação 4).

$$160 \frac{kg}{tonelada} * 216 \frac{toneladas}{d} = 34.560 \frac{Kg}{d} \text{ ou } 34,56 \text{ t/dia} \quad (4)$$

Na safra de 2020/2021 foram vendidos pelas empresas arroseiras um total 800.000 mil de toneladas para UTE, colaborado para dar um destino apropriado para a casca de arroz, sendo que a mesma demora para se decompor no meio ambiente e foi produzido anualmente cerca de 12.441,6 toneladas de CCA (Equação 5).

$$34,56 \frac{tonelada}{d} * 30 \text{ d} * 12 \text{ meses} = 12.441,6 \text{ t/ano} \quad (5)$$

Para que ocorra a substituição da CCA no cimento Portland no processo de produção da argamassa, primeiro é necessário definir um traço base do produto que é a proporção de todos os materiais utilizados, sendo que isso colabora para determinar o consumo total e os custos.

De acordo com Lombardi (2019), foi encontrado um valor de resistência à compressão da argamassa de referência de 16,21 MPa aos 28 dias, o ensaio ocorreu em uma prensa hidráulica, onde é aplicado uma força até que ocorra o rompimento do corpo de prova. O traço aplicado na pesquisa é o mesmo que a NBR 7215/1996 (Cimento Portland – Determinação da Resistência à compressão), sendo 1:3 (cimento: areia) e a relação água/cimento de 0,48.

Com isso, obteve-se a quantidade dos materiais em quilograma e m³ do traço para obter 1 (m³) de argamassa do traço acima:

$$400 \text{ kg de cimento: } 1,07 \text{ m}^3 \text{ de areia: } 0,21 \text{ m}^3 \text{ de água}$$

Em seguida após realizar a determinação do traço base de argamassa, foi estabelecido qual a área da residência a ser analisada e em sequência qual a porcentagem da cinza de casca de arroz que seria realizada à substituição parcial no cimento Portland.

A área do lote é de 125m², com frente de 5 metros (m), se encaixando nas construções residências consideradas de meio lote. Com isso, foi utilizado como base um estudo de caso de

um lote com sua área construída de 70m². Conforme, informações obtidas pelo escritório WD Engenharia e Projetos, localizada na cidade de Rio Verde – GO, para uma construção de 70 m² utiliza-se cerca de 8 m³ de argamassa em uma obra.

Para substituição parcial do cimento Portland foi considerado 15%, essa porcentagem foi determinada, pois apresentou um resultado mais expressivo na resistência à compressão quando comparado as demais substituições conforme os resultados da Tabela 8. Levando-se em consideração os dados apresentados nesse estudo de caso foi determinado a quantidade de cimento utilizado nessa obra, conforme apresentado na Equação 6.

$$\frac{400 \text{ kg de cimento}}{1\text{m}^3 \text{ de argamassa}} * 8\text{m}^3 \text{ de argamassa} = 3200 \text{ kg de cimento} \quad (6)$$

No cálculo apresentado acima foi utilizado a quantidade de cimento aplicado em 1 m³ de argamassa, juntamente com a quantidade em metros cúbicos empregados para construir os elementos de uma obra sendo eles: assentamento dos tijolos, chapisco, emboço, reboco e contrapiso.

Após a determinação da quantidade total de cimento utilizados na argamassa, foi considerado 15% de CCA para substituição, como demonstrado pela Equação 7.

$$3200 \text{ kg de cimento} * 15\% = 480 \text{ kg de CCA} \quad (7)$$

Desse modo, para uma obra residencial com área construída de 70m², obteve-se um consumo de 3200 kg de cimento, podendo ocorrer uma substituição de 480 kg de cinza de casca de arroz na produção de argamassa. Um saco de cimento possui 50 kg e sem a substituição seria um total de 64 unidades, porém quando ocorre a substituição nota-se uma economia significativa de 10 sacos de cimento. Em relação ao custo, na cidade que está sendo realizado o estudo de caso a média do saco de cimento, está em torno de R\$ 30,50, sendo possível realizar uma economia na obra de R\$ 305,00.

A Usina Termoelétrica de São Sepé descrita no presente trabalho, produz anualmente cerca de 12.441.600 kg de CCA por ano, e pela Equação 8 é possível determinar quantas obras poderiam ser impactadas se realizassem a substituição de 15% no cimento Portland.

$$\frac{12.441.600 \text{ kg de CCA}}{480 \text{ kg de CCA/obra}} = 25.920 \text{ Obras} \quad (8)$$

Sendo assim, à aplicação da substituição parcial no cimento Portland para produzir argamassa para construção de 25.920 residências de 70m², gera uma economia em torno de 259.200 sacos de cimento. Como já descrito anteriormente, as indústrias cimenteiras são responsáveis por emitir cerca de 5% do dióxido de carbono (CO₂) mundial, além de outros poluentes que são liberados no processo de produção, conforme descrito por Lopes (2011). Por isso, realizar a substituição parcial do cimento Portland pode apresentar diversos benefícios na sociedade, gerando um impacto ecológico significativo.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou apresentar diversas pesquisas onde foi aplicada a substituição parcial do cimento Portland por cinza de casca de arroz para produção de argamassa. Desse modo, através dos resultados encontrados nota-se que a argamassa produzida por meio da substituição permitiu gerar uma redução nos impactos ambientais que ocorrem com o descarte incorreto, ao qual nos últimos anos vêm sendo aplicado como material energético e diariamente é gerado 34.560 quilogramas de CCA no processo de queima da Usina Termoelétrica São Sepé,

Dessa forma, com o crescimento do setor da construção civil vêm gerando um aumento nos impactos ambientais, visto que o cimento é o material mais empregado neste setor e para o seu processo de produção é gerado um elevado índice na emissão de CO₂ na atmosfera, gerando uma necessidade em reduzir o consumo do material.

Como forma de validação dos resultados, foi elaborado um estudo de caso utilizando a substituição parcial do cimento Portland por CCA, em uma residência com área construída de 70 m², sendo considerada uma substituição de 15%, a mesma foi determinada após apresentar resultados satisfatórios, pois a cinza apresentou um aumento na resistência à compressão, podendo melhorar a trabalhabilidade e durabilidade, devido ao seu alto índice de pozonalidade. Com isso, é possível gerar uma redução de 10 sacos de cimento, sendo capaz de realizar uma economia de R\$ 305,00 reais para construção de uma residência de 70 m², além das vantagens econômicas de reduzir a emissão de CO₂ gerados no processo de produção do cimento, colaborando para conservação dos recursos ambientais.

A pesquisa realizada traz diversas contribuições para que seja possível a realização de construções sustentáveis, visto que a incorporação de um material na produção de argamassa colabora diretamente para redução dos resíduos sólidos, amenizando os impactos gerados nesse setor e que as cinzas produzidas na Usina Termoelétrica são capazes de ser utilizadas como um importante material na construção.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos.** Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

_____. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da Resistência à compressão.** Rio de Janeiro, ABNT, 1996.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 109 f., 2010.

CABRAL, S. C. **Materiais alternativos para adição ao cimento Portland.** Revista vozes dos vales, Diamantina, v. 10, n. 1, 2016

DAFICO, D.A. **Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 191p., 2001

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. **Reciclagem de resíduos Agro-Industriais; Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica.** Cerâmica Industrial, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. **Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica,** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 12f., 2001.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 134p.,2008.

FONSECA, M.R.G. **Isolantes térmicos fabricados a partir da cinza da casca de arroz: obtenção, caracterização de propriedades e sua relação com a microestrutura.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 140 f., 1999.

KAWABATA, C.Y. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural.** Tese (Doutorado)– Universidade de São Paulo, Pirassununga/SP, 165 p., 2008

KRISHNARAO, R.V.; SUBRAHMANYAM, J.; JAGADISH, K. T. **Studies os the formation of black particles in rice hush silica ash**, Jounal of the european ceramic society, 99 – 104 p.; 2001.

LIMA, S.A. **Análise da viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias: Estudo de caso da cinza da casca da castanha de caju**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 160 f., 2008.

LOMBARDI, J.H.C. **Desenvolvimento de argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por cinza do bagaço de cana de açúcar**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana/PR, 111 f., 2017.

LOPES, D.F. **Crédito de carbono na indústria do cimento**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 34 p., 2011

LOTTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R. D. **Supplementary cementitious materials**. Cement and Concrete Research, v. 41, p. 1244–1256, 2011.

LUDWIG, D.G. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Univates, Lajeado, 59 f., 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 674 f., 2008

MOURA, A.A. **Argamassa com substituição parcial do cimento por resíduos industriais**. Dissertação (Mestrado), Londrina, 107 f., 2018.

PEREIRA, A. G.; VIEIRA, C. da S.; OLIVEIRA, M. B. de.; PAIVA, J. C. A.; SILVA, R. L. da .; TRINDADE, A. G. da .; LACERDA, B. de M. **Uma revisão sobre a utilização de cinza de casca de arroz na Construção Civil**. [S. l.], v. 10, n. 3, 2021.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 232f., 2006.

RÊGO, J.H.S. **As cinzas da casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento – aspectos da microestrutura das pastas**. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília/DF, 275p., 2004.

SANTOS, C.H.C. **Uso da cinza da casca de arroz na agricultura**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santo Antônio da Patrulha/SC, 49p., 2011.

SANTOS, H. G. dos; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; ÁGLIO, M. L. D.; SANTOS, A. B. dos. **Os solos e a cultura de arroz**. XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, 2009.

SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolanas em baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 267 p., 2006

SARAIVA, C.T.; PERES, W.B.; RISSO, J. **Manejo da temperatura do ar na secagem intermitente de sementes de arroz irrigado**. Revista Brasileira de Sementes, v. 29, p. 23-27, 2007.

SHI, C.; ZHENG, K. **A review on the of waste glasses in the production of cement and concrete**. Resources Conservation & Recycling, v. 52, p. 234-247, 2007.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO - SNIC. Disponível em: <http://snic.org.br/> Acesso em: jul./2021.

SOUZA, M.F. **Rice hull-derived silica: Applications in Portland cement and mullite Whiskers**. Material Research. v.3, n.2, 25 – 30p., 2000.

WEBER, S.L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 98p., 2001.