UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MARCOS GOULART CAMILO

ESTUDO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Tubarão
2018

MARCOS GOULART CAMILO

ESTUDO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Rennan Medeiros, MSc.

Tubarão

2018

MARCOS GOULART CAMILO

ESTUDO DO USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 03 de dezembro de 2018.

Professor e orientador Rennan Medeiros, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Walter Olivier Alves, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Rennan Medeiros, meu orientador, pela dedicação e paciência em me orientar e pelos conhecimentos que me foram passados.

À esta universidade pela oportunidade de realização do curso de graduação em Engenharia Civil.

À empresa Copagro, e ao meu amigo Wouger Souza, por terem me disponibilizado os materiais e informações necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

À minha namorada Bianca, pela compreensão e apoio durante os períodos em que fiquei ausente.

E por fim, a minha família que é a base de tudo e sempre apoiou minhas escolhas.

RESUMO

Na indústria de beneficiamento de arroz, a casca de arroz é utilizada como fonte de energia, produzindo cinza após a queima. Esta cinza, geralmente, é descartada de forma incorreta, o que agride o meio ambiente. Esta pesquisa visou a utilização desta CCA na substituição parcial do cimento Portland para produção de concreto. O método utilizado foi o de investigação em da substituição de cimento Portland por materiais cimentícios suplementares apenas na fração de argamassa do concreto. Sendo produzidas amostras de referência, sem a adição de CCA, amostras com teores de 10%, 20% e 30% de CCA que passaram por processo de secagem e moagem, e outras, também com teores de 10%, 20% e 30%, produzidas com CCA em forma bruta, substituindo parcialmente o cimento Portland na confecção de argamassa. As argamassas produzidas passaram por testes de compressão axial nas idades de 3, 7 e 28 dias. Em todas as idades as amostras referência obtiveram os melhores desempenhos, e as amostras produzidas com CCA bruta os piores desempenhos, ou seja, foram as amostras com menor resistência a compressão. As amostras com teores de 10% e 20% de CCA tratada se destacaram pelo maior ganho de resistência durante os testes, mostrando a tendência a ultrapassar os valores das amostras referência em idades maiores que 28 dias, sendo que as amostras com 20% de CCA tratada tem maior tendência de crescimento. Economicamente a argamassa produzida com substituição parcial do cimento Portland por 20% de CCA tratada se mostrou viável, desde que não sejam empregadas em locais que necessitem de alta resistência inicial. Em contrapartida, as argamassas produzidas com as diferentes concentrações de CCA bruta se mostraram inviáveis, devido à baixa resistência alcançada. Ambientalmente o uso de CCA também traz benefícios, pois diminui a produção de cimento e, por consequência, as emissões de CO_2.

Palavras-chave: Cinza da casca de arroz. Cimento. Meio ambiente.

ABSTRACT

In the rice processing industry, the rice husk is used as an energy source, producing ash after burning. This ash is usually disposed of incorrectly, which harms the environment. This research aimed at the use of this RHA in the partial substitution of Portland cement in the production of mortar. Samples with 10%, 20% and 30% of RHA contents that were submitted to the drying and milling process were produced without the addition of RHA, and others with 10%, 20% and 30%, produced with RHA in crude form, partially replacing Portland cement in the manufacture of mortar. The mortars produced underwent axial compression tests at the ages of 3, 7 and 28 days. At all ages the reference samples obtained the best results, and the samples produced with crude RHA had the worst results. However, the samples with 20% of treated RHA were highlighted by the higher resistance gain during the tests, showing a tendency to exceed the values of the reference samples at ages greater than 28 days.Economically the mortar produced with partial replacement of Portland cement by 20% of treated RHA proved to be feasible, provided they are not used in places that require high initial resistance. In contrast, mortars produced with different concentrations of crude RHA were not feasible due to the low resistance achieved. Environmentally the use of RHA also brings benefits, because it reduces the production of cement and, consequently, the CO_2 emissions.

Keywords: Rice husk ash. Cement. Environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Areias empregadas na pesquisa. a) fina. b) britagem 20
Figura 2 – Cinza de Casca de Arroz Utilizada nesta pesquisa. a) Bruta. b) Moída 23
Figura 3 – Relação entre as resistências de concreto e argamassa com igual relação água/cimento 24
Figura 4 – Misturador mecânico 26
Figura 5 – Ensaio de consistência na mesa de flow. a) Aparelho de medida de consistência. b) Forma troncônica preenchida com argamassa. c) Espalhamento da argamassa. d) Medição com auxílio de paquímetro 27
Figura 6 – Corpo de prova nivelado e identificado 28
Figura 7 – Retífica 29
Figura 8 – Prensa 29
Figura 9 – Resistência em MPa na idade de 3 dias 30
Figura 10 – Resistência em MPa na idade de 7 dias 31
Figura 11 – Resistência em MPa na idade de 28 dias 32
Figura 12 – Desenvolvimento da resistência em relação a idade 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da CCA 17
Tabela 2 – Caracterização dos índices físicos dos agregados 20
Tabela 3 – Características do aditivo mira flow 973 21
Tabela 4 – Propriedades físicas do cimento Portland 22
Tabela 5 – Propriedades químicas do cimento Portland 22
Tabela 6 – Traços utilizados nesta pesquisa 25
Tabela 7 - Ganho Total de Resistência entre 3 e 28 dias 33
Tabela 8 – Custos para tratamento e transporte de CCA 33
Tabela 9 – Custos para a produção de 1m³ de argamassa sem adição de CCA 34
Tabela 10 – Custos para a produção de 1m³ de argamassa com adição de 20% CCA 34

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CA – Casca de arroz

CCA – Cinza da casca de arroz

COPAGRO – Cooperativa Agropecuária de Tubarão

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

SC – Santa Catarina

CP – Cimento Portland

ARI – Alta resistência inicial

EMIC – Marca de equipamentos para ensaios mecânicos destrutivos

a/c – Fator água/cimento

MCS - Materiais cimentícios suplementares

LISTA DE SÍMBOLOS

R$ - Real, moeda utilizada no Brasil

kg – Quilograma

MJ – Megajoule

Cº – Grau Celsius

MPa – Megapascal

mm – Milímetro

m^3 – Metro cúbico

MW – Megawatt

C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado

SiO_2 – Dióxido de Silício

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

K_2O – Óxido de Potássio

Na_2O – Óxido de Sódio

MgO – Óxido de Magnésio

CaO – Óxido de Cálcio

Fe_2O_3 – Óxido Férrico

MnO – Óxido de Manganês

P_2O_5 – Pentóxido de Fósforo

$Ca(OH)_2$ – Hidróxido de Cálcio

Ca^{2+} – Íon de Cálcio

OH^- – Hidroxila

SO_3 – Trióxido de Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **12**
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA 13
1.2 OBJETIVOS 13
1.2.1 Objetivo geral **13**
1.2.2 Objetivos específicos **13**
2 REVISÃO DE LITERATURA **15**
2.1 CINZA DE CASCA DE ARROZ 15
2.1.1 Características da Cinza de casca de arroz **16**
2.1.2 Propriedades pozolânicas da Cinza de casca de arroz **17**
2.2 LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE E CARACTERÍSTICAS DA CASCA DE ARROZ E DA CINZA DA CASCA DE ARROZ PRODUZIDA NA REGIÃO DE TUBARÃO – SC 18
3 MATERIAIS E MÉTODOS **19**
3.1 MATERIAIS 19
3.1.1 Agregados **19**
3.1.2 Aditivo **20**
3.1.3 Água **21**
3.1.4 Cimento **21**
3.1.5 Cinza da Casca de Arroz (CCA) **23**
3.2 MÉTODOS 23
3.2.1 Estudo em argamassa **23**
3.2.2 Moldagem dos corpos de prova **25**
3.2.3 Ensaio de resistência à compressão **28**
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **30**
4.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA 30
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 30
4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DA CCA EM RELAÇÃO A ARGAMASSA CONVENCIONAL 33
5 CONCLUSÃO **36**
REFERÊNCIAS **37**

1 INTRODUÇÃO

Santa Catarina é o segundo maior produtor de arroz do país, com 7.931 quilos colhidos em média por hectare na safra 2016/2017. A área plantada nesta mesma safra foi de 148.316 hectares (GOVERNO DE SC, 2017). Sendo isso um ponto positivo, também temos o lado negativo. Durante o processo de produção do arroz, alguns resíduos de difícil descarte são produzidos. Um dos resíduos é a casca de arroz ou CA, que geralmente é usada como combustível para alimentar os fornos das indústrias que beneficiam o arroz. Outro resíduo, que é o tema desta pesquisa, é a cinza da casca de arroz ou CCA, como será denominada durante a pesquisa.

A CCA é um material de difícil descarte, sendo usada como adubo nas próprias plantações de arroz, mas a quantidade produzida é maior que a demanda, o que acaba gerando problemas na cadeia produtiva por não existir um descarte ideal que não agrida diretamente o meio ambiente.

O material de construção mais consumido no mundo é o concreto, juntamente com seus derivados. Sendo a produção destes materiais responsável por 5% das emissões de CO_2 no mundo (FREIRE, 2016). A utilização da CCA visa diminuir essas emissões de CO_2 colaborando com a diminuição da produção de gases prejudiciais ao meio ambiente.

A CCA é um material produzido em grandes quantidades e, por ser um resíduo da produção de arroz, também é barato. Este material é rico em sílica, o que o torna um excelente aglomerante em argamassas, podendo ser, em parte, um bom substituto para o clínquer, que é uma das matérias primas da fabricação do cimento Portland e de produção mais cara.

Somente a empresa Copagro, localizada na cidade de Tubarão, que beneficia o arroz colhido em 10 cidades da região, no ano de 2017, produziu cerca de 11.500 toneladas de CA e 1.150 toneladas de CCA. Aproximadamente 50% da CA produzida é utilizada nos fornos desta empresa, sendo o restante utilizados na agropecuária e em outros fins.

Da CCA resultante da queima da CA, 30% é usada como adubo nas plantações de arroz logo após ser produzida, sendo que o restante fica estocado durante vários meses até que tenha um destino, gerando custos e necessitando de grandes espaços da indústria para armazenamento. O destino da cinza não utilizada, geralmente, é um aterro, onde agride o meio ambiente e cria um impacto ambiental indesejado.

A CCA produzida é rica em sílica, porém, com alto teor de materiais que não foram carbonizados adequadamente.

Esta pesquisa busca aproveitar da melhor forma possível a CCA, determinando se a CCA moída e a CCA bruta apresentam o mesmo desempenho e eficiência. Também tem-se por objetivo a quantificação mais eficiente deste material como substituto do cimento em argamassas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Para diminuir os impactos que a fabricação e uso do cimento exercem sobre o meio ambiente, a solução tem sido a substituição parcial do clínquer por pozolanas de origem industrial como cinza volante, sílica ativa ou metacaulim ou resíduos agrícolas como cinza de casca de arroz, cinza de bagaço de cana, entre outros (ISAIA et. al., 2017).

A CCA, por ser produzida em grande quantidade em nossa região, atualmente sem ter um destino e descarte ideal, podendo ser um possível agente poluidor, torna-se o material mais adequado a esta pesquisa. Desta fora se espera amenizar o impacto ambiental da produção de arroz, reaproveitando esse rejeito da indústria.

Para fins desta pesquisa serão utilizadas CCA produzidas pela empresa Copagro, da cidade de Tubarão, SC, que beneficia o arroz e utiliza a CA para produção de energia térmica.

1.2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos geral e específicos desta pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

Investigar a viabilidade da utilização da CCA, proveniente da empresa Copagro, como material cimentício suplementar para produção de concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar as características das cinzas de cascas de arroz moída e bruta;
- Avaliar a influência do uso de cinza de casca de arroz com diferentes características físicas nas propriedades no estado fresco e endurecido;
- Verificar o potencial de redução do consumo de cimento para resistência de concretos normais com o uso de cinza de casca de arroz;

- Avaliar a redução de custo do m³ de concreto com a utilização de cinza de casca de arroz.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A população mundial vem crescendo a cada dia, bem como a tecnologia tem avançado e produzido cada vez mais materiais e produtos para facilitar a vida de todos. Junto temos também o aumento da poluição e contaminação do meio ambiente, principalmente com a grande emissão de gases tóxicos e a produção de grandes quantidades de resíduos que não tem uma destinação correta. Na área agrícola, pode-se destacar a grande quantidade de Cinza de Casca de Arroz (CCA) produzida e que não tem uma destinação correta para todo o volume gerado. Uma das soluções para evitar o problema que a CCA tem causado para a indústria, é a reutilização na construção civil.

Em grande parte dos países produtores de arroz, muitos estudos e pesquisas têm sido realizados visando aumentar as possibilidades de reutilização da CCA. Neste sentido, a CCA, vem sendo utilizada como material pozolânico, como substituto de parte do cimento, na preparação de concretos e argamassas a base de cimento Portland.

Durante o processo de hidratação do cimento, são formados produtos cimentares caracterizados como o cristal de C-S-H. Além disso, também produz durante a hidratação, aproximadamente 20% de Hidróxido de Cálcio. É com esse Hidróxido de Cálcio que as pozolanas reagem para formar novos produtos cimentares, e, portanto, aumentar as propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas e concretos (TASHIMA *et al*., 2011).

Vários estudos relacionam a adição de CCA com o aumento da resistência e da durabilidade do concreto e da argamassa.

2.1 CINZA DE CASCA DE ARROZ

Segundo a FAO, *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), a produção mundial em 2017 se estabeleceu em 756,5 milhões de toneladas de arroz em casca (502,2 milhões de toneladas de arroz beneficiado), ligeiramente acima de 2016 (INFOARROZ, 2018).

A casca de arroz (CA), após desidratada, representa uma quantidade de aproximadamente 20% do total da produção e é utilizada de muitas maneiras, entre elas podemos citar a alimentação animal, compostagem, elementos filtrantes e cama para animais, mas a principal aplicação, entretanto, é a geração de energia para o processo de secagem e parboilização dos grãos de arroz (TASHIMA *et al*., 2011). A CA tem elevado poder calorífico,

na ordem de, aproximadamente, 16,33 MJ/kg (DINIZ *et al*., 2004), constituindo assim, uma fonte alternativa para a produção de energia.

Para que a CCA seja utilizada como pozolana, esta deve passar por um processo de moagem obtendo uma granulometria que proporcione uma melhor reação com o Hidróxido de Cálcio. Além de um maior grau de pureza e elevada concentração de sílica, que podem ser obtidas através de processos químicos, como a lixiviação ácida.

Na empresa Copagro (empresa utilizada para o estudo), a CA é carbonizada a temperatura que varia entre 550ºC e 600 ºC para a produção de energia térmica, resultando em 20% de CCA.

2.1.1 Características da Cinza de casca de arroz

A CA é um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento dos grãos de arroz. É composta por quatro camadas estruturais: epiderme externa, coberta com uma espessa cutícula de células silificadas; esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada; célula parênquima esponjosa e epiderme interna (SOUZA et. al., 2002).

Os componentes principais da CA são celulose e hemicelulose (50%), além de lignina (26%) e componentes orgânicos (4%), como óleos e proteínas. A massa restante inclui os materiais inorgânicos (SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, MgO, CaO, Fe_2O_3, MnO, P_2O_5) (ANGEL *et al*., 2009).

A CCA é um material de cor que varia entre cinza e o preto, também é leve, volumoso e altamente poroso. Podendo ser triturada e reduzida a um pó fino com consumo relativamente baixo de energia. Por ser um rejeito da indústria, a CCA, tem um custo de produção muito baixo e é de fácil aquisição e transporte.

O componente com maior teor percentual na composição da CCA, após sua calcinação no processo termelétrico, é o dióxido de silício (SiO_2), com 86,37% (NASCIMENTO *et al*., 2015). Uma composição típica da CCA do sul do Brasil é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Composição química da CCA

Componente	Teor (%)
Al_2O_3	0,86
CaO	0,63
Fe_2O_3	1,16
K_2O	3,09
MgO	0,68
P_2O_5	4,79
SiO_2	86,37
Orgânicos	2,10

Fonte: Nascimento *et al*. (2015).

Pode perceber a elevada quantidade de óxido de silício, principal componente a apresentar iterações químicas com hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento Portland.

2.1.2 Propriedades pozolânicas da Cinza de casca de arroz

É conhecida a potencialidade da utilização da CCA como pozolana altamente reativa como adição ao cimento Portland. A atividade pozolânica é a capacidade de um material silicoaluminoso, quando finamente moído, de reagir com o hidróxido de cálcio para formar um composto aglomerante.

Os métodos mais utilizados para a avaliação das propriedades pozolânicas e do índice de atividade pozolânica são a análise termogravimétrica, o método Luxàn e o método Chapelle modificado, sendo este último o mais utilizado (PINHEIRO, 2016).

A análise termogravimétrica é uma técnica que avalia as perdas de massa percentuais, como cada composto se degrada a um nível de temperatura, é possível identificar quais os compostos foram formados na reação de hidratação de uma pasta de cimento concreto e materiais cimentícios suplementares como a CCA (SEBASTIANY, 2014).

No método Luxàn, o índice de atividade pozolânica é definido baseado na variação da condutividade elétrica de 200 ml de solução saturada de $Ca(OH)_2$ a 40ºC e com agitação constante devido à adição de 5,0 g de CCA. Após a adição da CCA, a condutividade decresce devido à menor quantidade de íons Ca^{2+} e $(OH)^-$ na solução, sendo o índice de atividade pozolânica definido como a relação entre a condutividade elétrica antes da adição da CCA e aquela após decorridos 120 segundos da adição (RODRIGUES, 2004).

O método Chapelle modificado determina o índice de atividade pozolânica de materiais por meio da determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado. Este método se aplica a materiais sílico-aluminosos, cuja fase amorfa tenha a capacidade de fixar hidróxido de

cálcio, conforme prescrito neste método de ensaio, como pozolanas naturais, pozolanas artificiais, argilas calcinadas, cinzas volantes, sílica ativa e metacaulim, conforme NBR 15895 (ABNT, 2010).

2.2 LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE E CARACTERÍSTICAS DA CASCA DE ARROZ E DA CINZA DA CASCA DE ARROZ PRODUZIDA NA REGIÃO DE TUBARÃO – SC

No ano de 2017 foram produzidas 11.500 toneladas de CA, somente pela empresa Copagro, localizada na cidade de Tubarão. Sendo que metade desta produção é destinada a diversas áreas e a outra metade é utilizada para produção de energia térmica na própria empresa. De toda a CA utilizada para queima, aproximadamente 1.150 toneladas de CCA são produzidas. Para o ano de 2018, é esperada uma produção semelhante.

A CA produzida tem vários destinos, sendo os mais comuns à alimentação animal, compostagem, elementos filtrantes e cama para animais.

Por ser um material de difícil decomposição, a CA não pode ser desprezada em grandes quantidades a céu aberto sem algum tratamento ou beneficiamento, pois acaba gerando um impacto ambiental.

Utilizar a CA na produção de CCA e, posteriormente adicioná-la à composição de argamassas é uma das alternativas mais economicamente e ambientalmente viáveis, pois reduz a poluição causada, produz materiais mais baratos, gera renda e empregos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A cinza de casca de arroz utilizada nesta pesquisa foi coletada na empresa Copagro, atuante no ramo de beneficiamento e comercialização de arroz. Neste local a CA é queimada gerando energia térmica para uso em sua linha de produção.

Para a preparação da CCA, produção dos corpos de prova e testes foram utilizados os laboratórios da UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina.

Todos os procedimentos foram realizados em três etapas. A primeira etapa consistiu na coleta da CCA e moagem para se obter um material mais fino e de maior qualidade.

Na segunda etapa os materiais (areia, brita cimento e CCA) foram preparados, misturados e argamassas diferentes foram produzidas, sendo uma delas sem adição de CCA, denominada referência, e outras com teores variados de CCA (10%, 20% e 30%) também foram confeccionadas. Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura. Todos os procedimentos de pesagem, desmoldagem, armazenamento e cura seguiram as normas da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Por fim, na terceira etapa, foram utilizados corpos de provas com idades de 3, 7 e 28 dias, para as verificações de resistência a compressão a partir do rompimento de corpos de prova, conforme NBR 7215 (ABNT, 1996).

3.1 Materiais

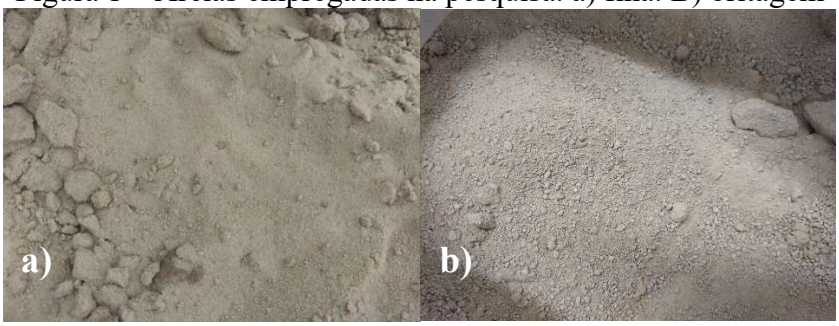
Todos os materiais utilizados nesta pesquisa, bem como todas as análises seguem normas nacionais ou internacionais e foram realizadas em laboratório.

Os materiais utilizadas são disponibilizados na região, conforme apresentados a seguir.

3.1.1 Agregados

Utilizou-se areia fina, Figura 1a, de procedência da empresa Tramontim de Içara SC, e areia de britagem, Figura 1b, da pedreira Falchetti de Tubarão SC. Suas propriedades físicas são apresentadas na tabela 2.

Figura 1 – Areias empregadas na pesquisa. a) fina. B) britagem



Fonte: Autor (2018),

Tabela 2 – Caracterização dos índices físicos dos agregados

Propriedades		Areia de Britagem	Areia Fina
Módulo de finura		2,93	1,54
Dimensão máxima característica	mm	4,8	0,6
Massa unitária em estado solto	kg/m³	1465	1480
Teor de material pulverulento	%	8,4	0,8
Impurezas orgânicas e húmicas	ppm	< 300	< 300
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	%	-	0,5
Massa específica aparente	g/cm³	2,575	2,608
Absorção	%	1,03	0,06

Fonte: Autor (2018).

Todas as especificações de acordo com os parâmetros da NBR 7211 (ABNT, 2009) foram são atendidas para estas areias.

3.1.2 Aditivo

Para a produção das argamassas desta pesquisa utilizou-se o aditivo polifuncional de alta eficiência produzido pela Grace, mira flow 929, suas propriedades são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Características do aditivo mira flow 973

Propriedade	Especificação	Unidade
Aparência	Líquido alaranjado	Visual
pH	4,5 - 6,5	-
Densidade	1,030 - 1,070	g/cm³
Teor de sólidos	32,2	%

Fonte: Modificado de *Grace Construction Products* (2016).

De acordo com o fabricante este aditivo pertence a uma linha de aditivos polifuncionais de alta redução de água, que apresenta excelente dispersão das partículas de cimento, melhorando assim a trabalhabilidade e sua hidratação. Esse produto é adequado para uso tanto no verão quanto no inverno, permitindo ganho de tempo de processo pela facilidade de aplicação e lançamento do concreto/argamassa bombeado, com melhoria do adensamento.

Este aditivo atende as especificações da NBR 11768 (ABNT, 2011).

3.1.3 Água

A água utilizada para a confecção dos corpos de prova, bem como para a cura, foi obtida da rede pública, fornecida pela empresa Tubarão Saneamento. Esta água é proveniente do Rio Tubarão e passa por tratamento antes de ser distribuída.

3.1.4 Cimento

O cimento Portland utilizado foi o do tipo CP V-ARI produzido pela Itambé Cimentos S.A.. A Tabela 4 é composta pelas propriedades físicas do cimento Portland empregado nesta pesquisa e Tabela 5 pelas propriedades químicas. Os requisitos da NBR 16697 (ABNT, 2018) foram atendidos para ambas as propriedades.

Tabela 4 – Propriedades físicas do cimento Portland

Propriedade				Parâmetro ABNT
Expansibilidade	Quente	mm	0	< 5,0
Massa específica		g/m³	3,12	-
Tempos de pega	Início	h:min	03:20	≥ 1:00
	Fim	h:min	04:00	< 10:00
Finura	#200	%	0,03	< 6,0
	#325	%	0,3	-
	Blaine	cm²/g	4.470	-
Resistência à compressão	1 dia	MPa	22.7	≥14
	3 dias	MPa	38,3	≥24
	7 dias	MPa	44	≥34
	28 dias	MPa	52	-

Fonte: Modificado de Itambé Cimentos (2017).

A Tabela 5 apresenta as propriedades químicas do cimento utilizado nesta pesquisa. Os requisitos da NBR 5733 (ABNT, 1991) foram atendidos.

Tabela 5 – Propriedades químicas do cimento Portland

Propriedade (%)	Sigla		Parâmetro ABNT
Alumina	Al_2O_3	4,22%	-
Sílica	SiO2	18,60%	-
Óxido de ferro	Fe_2O_3	2,97%	-
Óxido de cálcio	CaO	60,28%	-
Óxido de magnésio	MgO	3,87%	≤ 6,5
Trióxido de enxofre	SO_3	3,17%	≤ 4,5
Perda ao fogo	PF	3,48%	≤ 6,5
Dióxido de carbono	CO_2	1,45%	-
Óxido de cálcio livre	C_aO L.	0,79%	-
Resíduos insolúveis	RI	0,71%	≤ 3,5
Equivalente alcalino	Eq. Alc.	0,74%	-

Fonte: Modificado de Itambé Cimentos (2017).

Este produto foi escolhido porque é um cimento Portland de alta resistência inicial, tem alto grau de finura e menor teor de adições entre aqueles disponíveis no mercado brasileiro.

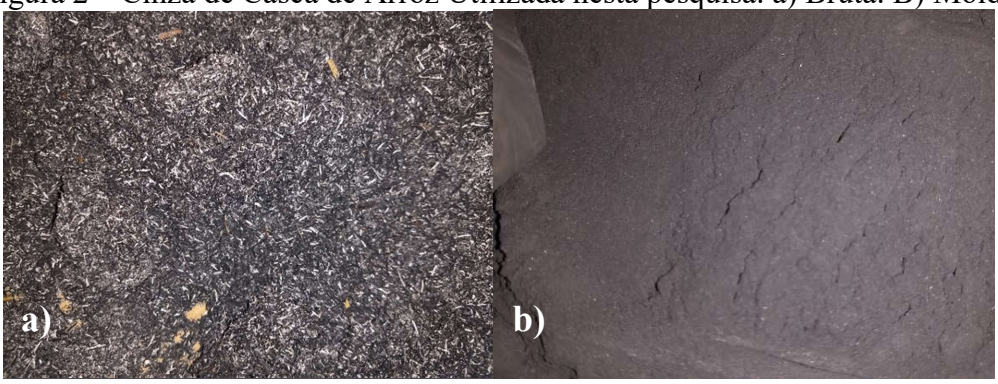
3.1.5 Cinza da Casca de Arroz (CCA)

A CCA utilizada foi disponibilizada pela empresa Copagro. Esta cinza é proveniente da queima de CA para a produção de energia térmica, utilizada em sua linha de beneficiamento e produção de arroz.

Para a realização dos ensaios, a CCA foi utilizada de duas formas. Uma parte foi utilizada na forma bruta, Figura 2a, sem tratamento ou moagem, tendo um alto grau de umidade e granulometria assimétrica. A outra parte passou por processo de secagem e moagem em moinho de bolas, proporcionando uma maior finura e granulometria uniforme, o que, teoricamente, melhora seu desempenho, Figura 2b.

Nas Figuras 2a e 2b pode-se notar a diferença na finura entre a CCA bruta e a que passou por tratamento de moagem em moinhos de bolas.

Figura 2 – Cinza de Casca de Arroz Utilizada nesta pesquisa. a) Bruta. B) Moída



Fonte: Autor (2018).

3.2 MÉTODOS

Neste item são apresentados os procedimentos experimentais empregados no desenvolvimento desta pesquisa.

3.2.1 Estudo em argamassa

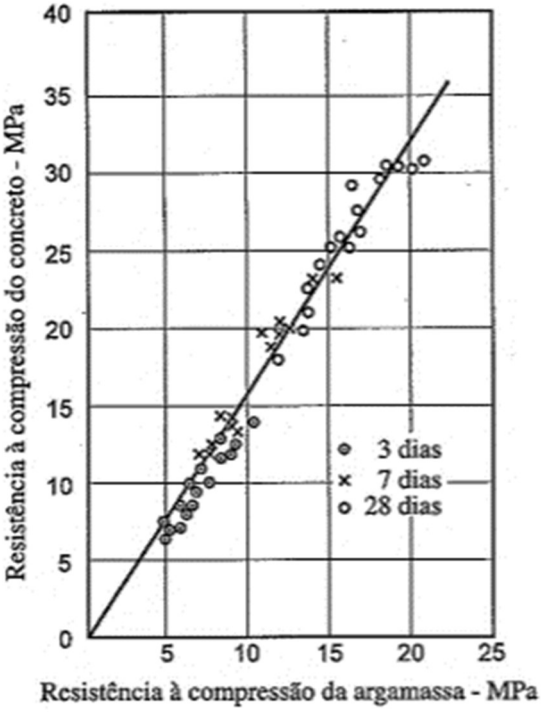
Para os ensaios em argamassa, primeiramente foram determinadas as porcentagens de substituição do cimento pela CCA, através dos estudos preliminares realizados. Foram investigadas três diferentes porcentagens - 10%, 20% e 30% para as duas características de grãos, natural (após queima) e submetida a moagem. A substituição foi realizada sobre o

volume absoluto de cimento para cada traço. Desta forma, foram reproduzidos 9 traços, considerando o traço piloto, sendo este o que não possui nenhum tipo de adição.

A proporção base utilizada nesta pesquisa, é um traço de concreto 1:6,0 com teor de argamassa de 56% – sendo referente a um concreto bombeável com resistência característica (fck) de 30 MPa. Este foi adaptado para estudo em argamassa, retirando o agregado graúdo. Desta forma, é possível avaliar melhor o desempenho dos materiais cimentícios suplementares (MCS) em concreto, sem a necessidade do amassamento de um expressivo volume de concreto. Este método vem sendo utilizado para avaliação de agregados no Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland (Gtec - UFSC) desde a pesquisa de Assunção (2002), sendo aperfeiçoada por Weidemann (2008), empregado por Damo (2011) – ainda para avaliação de agregados miúdos e, recentemente, aperfeiçoado por Medeiros (2018) para avaliação de cinzas volantes com caraterísticas químicas e físicas distintas.

A figura 3 demonstra a correlação entre os ensaios de resistência à compressão de concretos e argamassas, que valida o método citado acima. Percebe-se um comportamento linear, que pode ser aplicado nas três idades estudadas pelo autor, que coincidem com as idades avaliadas na presente pesquisa.

Figura 3 – Relação entre as resistências de concreto e argamassa com igual relação água/cimento



Fonte: Neville (1997, p. 74).

O traço utilizado é empregado pelas centrais dosadoras de concreto da região de estudo. Porém, o fator água/aglomerante foi determinado individualmente para cada traço

buscando atender, nos traços com adição, uma consistência semelhante ao do traço piloto. O ajuste na quantidade de água de cada traço foi realizado com intuito de analisar o consumo de água de cada MCS nos diferentes teores para uma mesma consistência. A Tabela 6 apresenta os traços utilizados nesta pesquisa.

Tabela 6 – Traços utilizados nesta pesquisa

Traço	Cimento	MCS	Areia Fina	Areia de britagem	Água/ aglomerante	Aditivo
Referência	1,0	-	1,48	1,47	0,53	0,5
CCA 10%	1,0	0,08	1,64	1,63	0,57	0,6
CCA 20%	1,0	0,17	1,85	1,84	0,59	0,6
CCA 30%	1,0	0,29	2,11	2,10	0,61	0,7

Fonte: Autora (2018).

Antes do processo de mistura, os materiais foram mantidos em condições de laboratório, com temperatura e umidade controladas. Os agregados não foram secos em estufa, sendo preciso determinar suas umidades e corrigir suas quantidades no traço e consumo de água real. Os procedimentos de ensaio são apresentados nos itens a seguir.

3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

De acordo com a quantidade calculada para cada composição, os materiais foram pesados e separados em recipientes individuais.

Os materiais foram misturados em um misturador mecânico, figura 4, formado por uma cuba de aço inox com capacidade de aproximadamente 5 litros e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma e, em movimento planetário, em torno do eixo da cuba, movimentos estes em sentidos opostos. As especificações da cuba e da pá seguem as normas da NBR 7215 (ABNT, 1996).

A mistura mecânica foi feita colocando-se inicialmente toda a quantidade de água, todo o aditivo e adicionando o cimento em seguida (também a CCA, quando incluída na composição). A mistura destes materiais foi feita com o misturador na velocidade baixa por 30 segundos. Após este tempo, sem parar a operação de mistura, foi iniciada a colocação de areia, com cuidado e gradualmente durante o tempo de 30 segundos. Imediatamente após a colocação da areia, a velocidade foi mudada para a alta, misturando todos os materiais por mais 30 segundos. Após este tempo, o misturador foi desligado por 1 minuto e 30 segundos. Nos

primeiros 15 segundos foi retirada, com auxílio de espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e à pá do misturador, colocando este material no interior da cuba. Durante o tempo restante, 1 minuto e 15 segundos, a argamassa ficou em repouso, coberta com pano limpo e úmido, o interior da cuba. Imediatamente após este intervalo, o misturador foi ligado na velocidade alta, por mais 1 minuto. Todos estes procedimentos foram realizados de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Figura 4 – Misturador mecânico

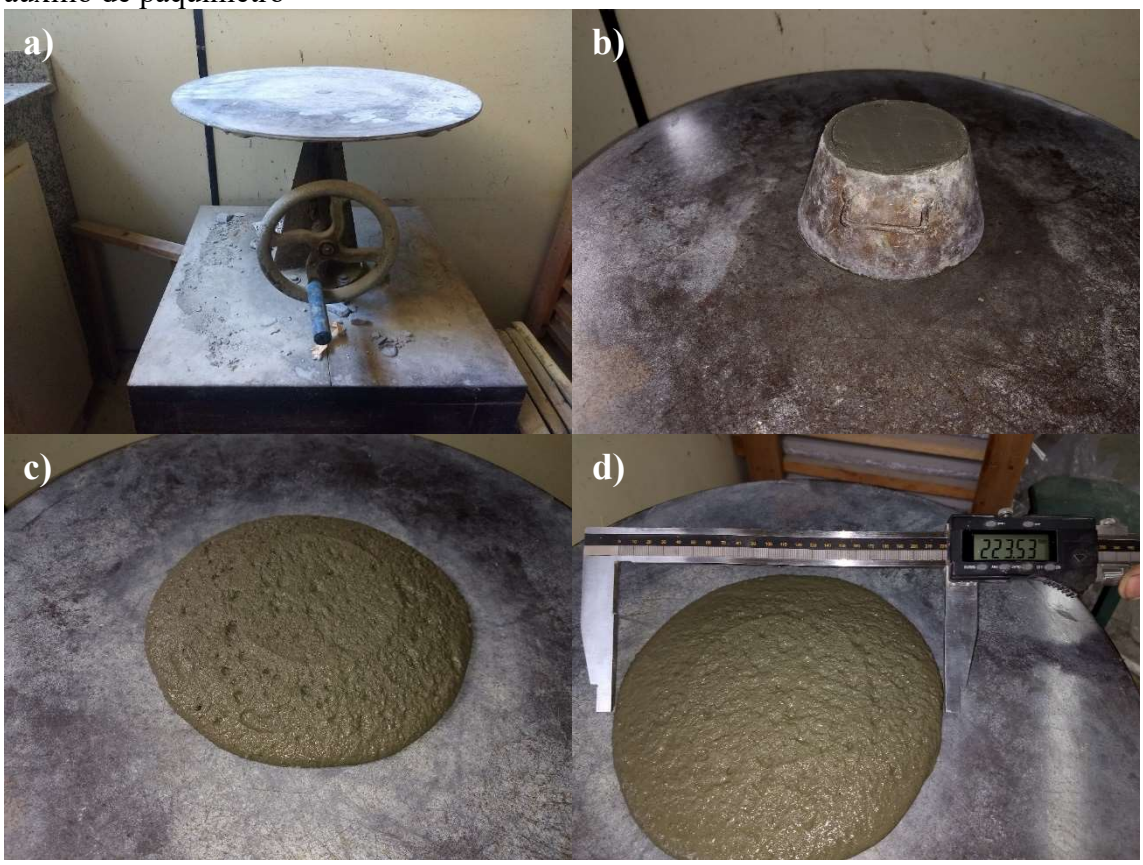
Fonte: Autor (2018).

Depois que a argamassa foi misturada, passou por moldagem em forma troncônica. Esta forma foi colocada centrada na mesa do aparelho de consistência, Figura 5a, após foi preenchida em três camadas da mesma altura, sendo que na primeira camada foram aplicados 15 golpes com soquete normal, na segunda camada foram aplicados 10 golpes e na última 5 golpes. Terminada esta operação, foi retirado o excesso de argamassa, alisado o topo da forma com régua e removido o material que caiu da e ficou sobre a mesa, Figura 5b, seguindo os procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Terminado o enchimento da forma, esta foi retirada imediatamente, sendo levantada verticalmente, com cuidado, e, em seguida, a manivela do aparelho de medida de consistência foi movida 30 vezes em cerca de 30 segundos, provocando o abatimento do tronco de cone de argamassa, conforme Figura 5c. Após o abatimento, foi feita a medida da base do tronco de cone de argamassa, em dois diâmetros ortogonais, com o auxílio de paquímetro,

Figura 5d. O ensaio foi repetido sempre que houve diferença maior que 5mm entre as duas medidas, sendo adicionado mais água quando necessário. Conforme procedimentos da NBR 7215 (ABNT, 1996).

Figura 5 – Ensaio de consistência na mesa de flow. a) Aparelho de medida de consistência. b) Forma troncônica preenchida com argamassa. c) Espalhamento da argamassa. d) Medição com auxílio de paquímetro



Fonte: Autor (2018).

Após os ensaios, a argamassa foi colocada em moldes de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, sendo que estes moldes foram preenchidos com o auxílio de espátula, em 4 camadas de altura aproximadamente iguais, onde cada camada recebeu 30 golpes uniformes com soquete normal, homogeneamente distribuídos. Esta operação foi finalizada com a retirada do excesso de argamassa, nivelamento do topo do corpo de prova com auxílio de uma régua e identificação, Figura 6. Procedimentos em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Figura 6 – Corpo de prova nivelado e identificado

Fonte: Autor (2018).

3.2.3 Ensaio de resistência à compressão

Assim que os corpos de prova completaram as idades determinadas para ensaio foi feita a retificação daqueles que seriam utilizados. A retificação consiste na retirada, de forma mecânica, de uma fina camada das superfícies superior e inferior do corpo de prova, com o objetivo de se atingir uma superfície lisa para a realização da compressão, sem induzir erros nas medidas (LONDERO, 2017). A retífica utilizada é apresentada na Figura 7.

Após a retificação dos corpos de prova, estes foram submetidos a ensaios de compressão, sendo utilizada a prensa da marca EMIC, apresentada na Figura 8, atendendo aos requisitos da NBR ISO 7500 1 (ABNT, 2016).

Durante o ensaio foi aplicada continuamente compressão axial, parando apenas quando acontecia a ruptura do corpo de prova, com os resultados, em kgf, sendo anotados e convertidos para MPa.

Figura 7 – Retífica

Fonte: Autor (2018).

Figura 8 – Prensa

Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSÕES

A seguir serão apresentados os resultados das análises realizadas nas diferentes amostras de argamassa produzidas.

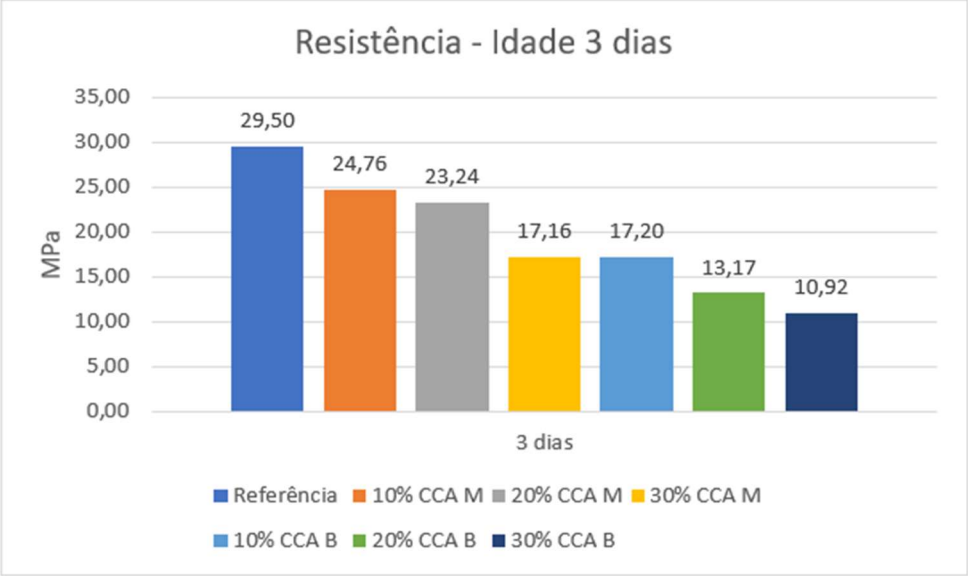
4.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Nos resultados do ensaio de consistência foram obtidos índices muito semelhantes, após ajustado o fator a/c, entre a argamassa referência e aquelas com substituição de parte do cimento Portland por CCA, o que demonstra que a utilização de CCA nos teores utilizados não alterou a trabalhabilidade das misturas.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos testes de resistência a compressão axial aos 3 dias de idade são apresentados na Figura 9. Neste teste, pode-se observar que a argamassa referência obteve os melhores resultados e que as composições com CCA moída nas proporções de 10% e 20% obtiveram resultados um pouco abaixo, mas semelhantes a referência. A CCA moída na proporção de 30% obteve um desempenho 41,83% abaixo da amostra referência e todas as amostras compostas por CCA bruta obtiveram resultados abaixo da amostra referência.

Figura 9 – Resistência em MPa na idade de 3 dias

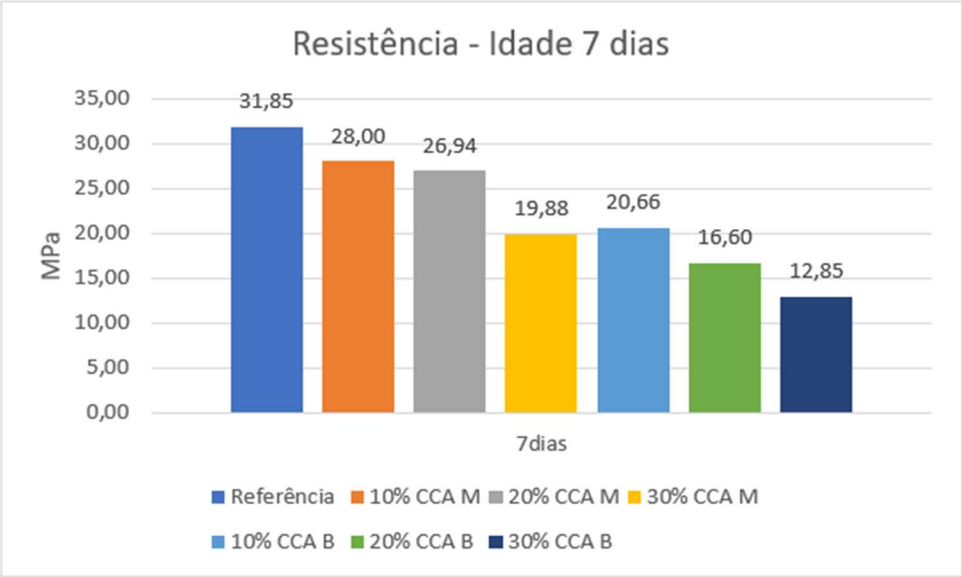


Fonte: Autor (2018).

No caso das amostras com CCA bruta, observa-se que em todas as concentrações houve uma grande diferença em relação a amostra referência, onde o melhor desempenho, que ficou 41,69% abaixo, foi obtido na proporção de 10% de CCA bruta e o pior, no teor de 30% de CCA bruta, ficou 62,98% abaixo da referência.

Na idade de 7 dias foram obtidos resultados semelhantes, onde a amostra referência também obteve um desempenho melhor que todas as outras amostras, ficando a amostra com 30% de CCA bruta com a menor resistência. Podendo ser observado que as amostras com 10% e 20% de CCA moída diminuíram a diferença de resistência em relação a amostra referência, conforme Figura 10.

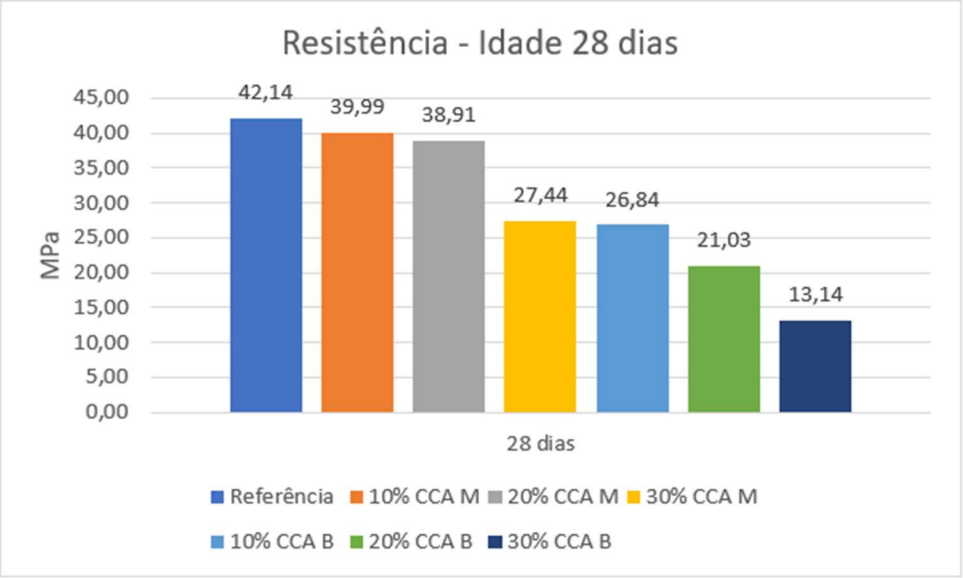
Figura 10 – Resistência em MPa na idade de 7 dias



Fonte: Autor (2018).

Como apresentado na Figura 11, aos 28 dias de idade, os resultados novamente mostram que a amostra Referência obteve a maior resistência e a amostra com 30% de CCA bruta com a menor resistência. Mas a diferença de resistência entre a amostra referência e as amostras com 10% e 20% de CCA moída continuou diminuindo.

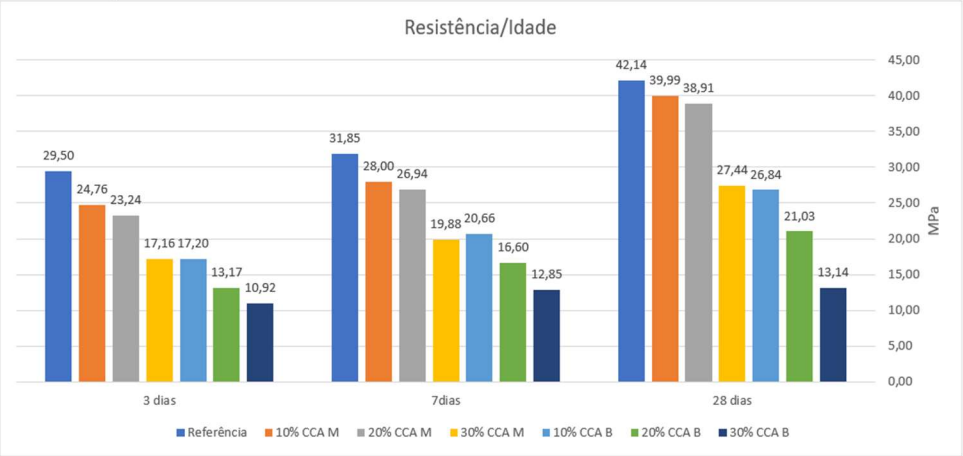
Figura 11 – Resistência em MPa na idade de 28 dias



Fonte: Autor (2018).

Na Figura 12 temos um comparativo do desenvolvimento da resistência em relação a idade.

Figura 12 – Desenvolvimento da resistência em relação a idade



Fonte: Autor (2018).

Analisando os resultados verifica-se que a amostras com 10% e 20% de CCA moída obtiveram um maior crescimento proporcional em relação as outras amostras, tendo sua resistência aumentado, entre as idades 3 e 28 dias, (10% de CCA - 15,23 MPa ou 61,53% e 20% de CCA 15,67 MPa ou 67,41%). Seguindo este crescimento, as amostras com 10% e 20% de CCA tendem a ultrapassar a resistência da amostra Referência em idades superiores a 28 dias, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Ganho Total de Resistência entre 3 e 28 dias

Amostra	MPa	% Entre 3 e 28 Dias
Referência	12,64	42,83
10% CCA Moída	15,23	61,53
20% CCA Moída	15,67	67,41
30% CCA Moída	10,27	59,84
10% CCA Bruta	9,64	56,05
20% CCA Bruta	7,86	59,67
30% CCA Bruta	2,21	20,27

Fonte: Autor (2018).

As amostras utilizando CCA bruta se mostraram inviáveis devido aos baixos índices de resistência alcançados e ao pequeno ganho até a idade de 28 dias.

4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DA CCA EM RELAÇÃO A ARGAMASSA CONVENCIONAL

Para verificar a viabilidade econômica do uso da CCA como aditivo em argamassas, buscou-se em pesquisas recentes os custos estimados para tratamento e transporte da CCA. Tratamento este envolvendo operação, manutenção e custo com energia do equipamento para moagem da CCA. Esta pesquisa considera a operação sendo feita por funcionários da própria empresa, sem novas contratações, sendo o único investimento a compra do equipamento de moagem.

Será utilizada a amostra de 20% de CCA moída para fins de cálculos.

Os custos mensais para tratamento e transporte da CCA residual de uma termoelétrica com geração de 1 MW de energia e consumo de 35 toneladas de CA por dia, resultando em 7 toneladas de CCA, estão expressos na Tabela 8 (LONDERO, 2017).

Tabela 8 – Custos para tratamento e transporte de CCA

Tratamento e transporte	Valores mensais (R$)
Operação/manutenção	4.400,00
Energia	2.200,00
Transporte	3.840,00
Total	**10.440,00**

(Fonte: LONDERO, 2017)

Segundo dados da Tabela 8, a CCA teria um custo de R$0,062/kg. Propondo uma margem de lucro de um pouco mais de 100%, a CCA seria vendida a R$0,13.

Com os dados obtidos, pode-se estimar um custo aproximado da produção de argamassa sem a utilização de CCA, Tabela 9.

Tabela 9 – Custos para a produção de 1m³ de argamassa sem adição de CCA

Material	**Quat. (1 m³)**	**Valor Unitário (R$/kg)**	**Valor Total (R$)**
Cimento	313	0,46	143,98
CCA	-	0	-
Areia Fina	457	0,031	14,167
Areia Grossa	457	0,038	17,366
Brita	964	0,038	36,632
Água	160	0,00592	0,9472
Aditivo	2,2	5,12	11,264
Total	**2353,2**	**-**	**224,36**

Fonte: Autor (2018).

Utilizando CCA como substituto parcial do cimento Portland, na composição de 20%, por ter esta proporção apresentado o melhor desempenho Tabela 10.

Tabela 10 – Custos para a produção de 1m³ de argamassa com adição de 20% CCA

Material	**Quat. (1 m³)**	**Valor Unitário (R$/kg)**	**Valor Total (R$)**
Cimento	250	0,46	115
CCA	52,5	0	0
Areia Fina	457	0,031	14,167
Areia Grossa	457	0,038	17,366
Brita	964	0,038	36,632
Água	160	0,00592	0,9472
Aditivo	2,2	5,12	11,264
Total	**2342,7**	**-**	**195,38**

Fonte: Autor (2018).

Produzir 1m³ de concreto sem a substituição do cimento Portland por CCA custa, aproximadamente, R$224,36, enquanto produzir 1m³ de argamassa, substituindo 20% do cimento por CCA custa, aproximadamente, R$195,38.

A produção de argamassa utilizando CCA na substituição de 20% do cimento Portland gera uma economia de 12,92%, ou seja, R$28,98 por m³.

Levando em consideração a produção de CCA atual na região de Tubarão, que é de 1150 toneladas/ano, seria possível produzir 21.905m³/ano de argamassa usando 20% de CCA em substituição ao cimento Portland, gerando uma economia de aproximadamente R$634.806,90. Esta substituição também estimula uma diminuição da quantidade de CO_2 que é lançada na atmosfera durante a produção do cimento, gerando mais lucros para a indústria beneficiadora de arroz e melhorando a qualidade do ar.

5 CONCLUSÃO

Ao final de todos os ensaios, as argamassas que utilizaram CCA em substituição parcial as cimento Portland demonstraram um desempenho inicial inferior ao da amostra referência, onde não foi utilizado CCA. Porém, as amostras com 10% e 20% de CCA, obtiveram um maior ganho de resistência até a idade de 28 dias. Este maior ganho mostra uma tendência de que, em idades maiores que 28 dias, se obtenha resistência superior à amostra referência.

Devido ao alto teor de sílica presente na CCA, era esperado um desempenho mais elevado. Provavelmente tal resultado deve-se ao fato de que a CCA utilizada continha altos níveis de impurezas, pois não foi submetida a tratamento químico para que se obtivesse uma maior concentração de sílica pura.

Mesmo com desempenho abaixo do esperado, a tendência de maior resistência em idades superiores às aqui investigadas, mostra que a utilização da CCA como substituto parcial do cimento Portland em concretos é viável economicamente. Contudo, esses concretos não são recomendados para elementos estruturais onde seja necessária uma alta resistência inicial.

É possível concluir que o uso de CCA em forma bruta não é viável, pois obteve um desempenho muito abaixo do esperado, com pequeno ganho de resistência até a idade de 28 dias.

Também pode-se inferir que o uso da CCA tratada como material pozolânico na substituição parcial de cimento Portland é economicamente viável e que esta substituição leva a diminuição da produção da cimento, consequentemente diminuindo as emissões de CO_2 e colaborando para a melhoria da qualidade do ar, bem como utilizar CCA em concretos evita o descarte irregular da mesma, o que também contribui para a redução do impacto ambiental causado por essa destinação inadequada.

REFERÊNCIAS

ANGEL, J. D. M.; VÁSQUEZ, T. G. P.; JUNKES, J. A.; HOTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química Nova**. 2009, vol. 32, n. 5, p. 1110-1114.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15895:** Materiais pozolânicos – Determinação do teor de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 7500-1:** Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão – Calibração e verificação do sistema de medição de força. Rio de Janeiro, 2016. 19 p.

ASSUNÇÃO, W. J.. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivos confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná.** 2002. 254 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DAMO, G. F.. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland**. 2011. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DINIZ, J.; CARDOSO, A. L.; STAHL, J. A.; VILLETTI, M. A.; MARTINS, A. F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 26, n. 2, p. 25-32, 2004.

FREIRE, Diego. **Papel da indústria do cimento nas emissões de CO_2.** Disponível em: <http://www.seesp.org.br/site/imprensa/noticias/item/15060-especialistas-discutem-papel-da-ind%C3%BAstria-do-cimento-nas-emiss%C3%B5es-de-co2.html>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

GOVERNO DE SC. **Safra de arroz cresce quase 15% em Santa Catarina.** Disponível em: <https://www.sc.gov.br/index.php/noticias/temas/agricultura-e-pesca/safra-de-arroz-cresce-quase-15-em-santa-catarina>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

INFOARROZ. **Informativo mensal do mercado mundial de arroz.** Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/informativo-mensal-do-mercado-mundial-do-arroz_404615.html>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

ISAIA, Geraldo Cechella; GASTALDINI, A. L. G.; CERVO, T. C. Estudo sobre o uso de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. In: 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014, Natal – RN. **Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto.** São Paulo – SP: IBRACON, 2014. v. 1. p. 1-15.

ISAIA, Geraldo Cechella; GASTALDINI, A. L. G.; Leticia R. Meira; DUART, Marcelo Adriano; Raúl Zerbino. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto. Parte I: Propriedades mecânicas e microestrutura. **Ambiente Construído**, v. 10, p, 121-137, 2010.

ITAMBÉ. **Cimento Portland de alta resistência inicial.** Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-v-ari/>. Acesso em: 5 de novembro de 2018.

LONDERO, Charles. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Araranguá: UFSC, 2017. 43 p. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá. Araranguá, 2017.

MEDEIROS, R.. E**studo da influência das características da cinza volante nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido:** Proposta de método simplificado em argamassa. 2018. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

NASCIMENTO, G. C.; DOMINGUINI, L.; MUNERON, J. M. M.; DAL MAGRO, J.; RIELLA, H. G.; FIORI, M. A. Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina – Brasil. **Ciência e Natura**, vol. 37, núm. 3, 2015, p. 634-640.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997. 828 p. Tradução de Eng. Salvador E. Giammusso.

PINHEIRO, Divino G. L. **Avaliação da atividade pozolânica em cinza de casca de arroz (CCA) com diferentes teores de sílica amorfa.** Brasília: UNB, 2016. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2016.

RODRIGUES, Conrado de Souza. **Efeito da adição de cinza de casca de arroz no comportamento de compósitos cimentícios reforçados por poupa de bambu.** Rio de Janeiro: PUC, 2004. 265 p. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2004.

SEBASTIANY, Lucas Deivid. **Avaliação de métodos de determinação do potencial pozolânico de resíduos da indústria de cerâmica vermelha.** São Leopoldo: UNISINOS, 2014. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, 2014.

SOUZA, M. F.; YAMAMOTO, J. Mulita a partir de hidróxido de alumínio e de sílica da casca de arroz. **Cerâmica**, v 45, n. 291, 1999, p. 34-37.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.** Ilha Solteira: UNESP, 2006. 80 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2006.

WEIDMANN, D. F.. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de Cimento Portland**. 2008. 273 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.