UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUÍ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

MARCIO ROBERTO LORINI

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS

Ijuí/RS
2014

MARCIO ROBERTO LORINI

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, apresentado como requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador : . Prof. Eder Claro Pedrozo, Msc

Ijuí/RS

2014

MARCIO ROBERTO LORINI

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Banca examinadora

_____

. Prof. Eder Claro Pedrozo, Msc - Orientador

_____

.

Prof. Msc

Ijuí, 26 de NOVEMBRO de 2014

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, por me guiar e proteger em todos os momentos da minha vida.

Agradeço aos meus pais que me orientaram e apoiaram nestes anos de graduação, mostrando-me o caminho correto da vida, do trabalho, da honestidade e do respeito e amor ao próximo.

Agradeço a todos os colegas do curso de Engenharia Civil, agradeço em especial aos laboratoristas Luiz Donato e Túlio da Silveira, pelo companheirismo e disposição em me ajudar durante esta pesquisa, pois sem eles não seria possível a realização deste trabalho

Agradeço também ao professor Boris Casanova Sokolovicz pela orientação e amizade em parte do projeto de pesquisa e ao professor Éder Claro Pedroso que auxiliou-me na reta final do TCC, e em outros momentos.

Enfim, agradeço a todos de forma em geral que estiveram presentes durante o tempo em que estive na graduação.

A todos, muito obrigado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 TEMA DE PESQUISA ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.4 OBJETIVOS ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.4.1 Objetivo geral ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.4.2 Objetivos específicos ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.5 JUSTIFICATIVA ..... **Erro! Indicador não definido.**
1.6 SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA 14
2 REVISÃO DA LITERATURA 15
2.1 CONCRETO 15
2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL 16
2.1.1 Definição 17
2.2.2 Vantagens do concreto autoadensável 18
2.2 CIMENTO DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL – CP V – ARI 19
2.3 CINZA DE CASCA DE ARROZ 19
2.4.1 Influência da temperatura de queima 20
2.4.2 Influência da moagem da CCA 21
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL FRESCO X CONCRETO AUTOADENSÁVEL 22
2.4.1 Propriedades do concreto fresco autoadensável 22
2.4.2 Propriedades do concreto fresco 24
2.5 MICROESTRUTURA DO CONCRETO 25
2.6 DURABILIDADE DO CONCRETO 26
2.7 PATOLOGIAS DO CONCRETO 28
3 METODOLOGIA 31
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 31
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA 32
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS 32
3.3.1 Aglomerantes 32
3.3.2 Agregados 34
3.3.3 Aditivo 36
3.3.4 Água 37
3.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS 37
3.4.1 Dosagem dos traços 37
3.4.3 Slump Flow Test 39
3.4.2 Ensaio com a Caixa L 41
3.4.5 Massa específica dos traços de concreto 44
3.4.6 Ensaio de resistência a compressão axial 45
3.4.8 Ensaio de água quimicamente combinada (AQC) 47
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 49
REFERÊNCIAS 61

RESUMO

O concreto é o material de construção mais empregado do mundo consumindo grande quantidade de recursos naturais não renováveis, alem da produção de matérias primas para sua produção causarem grandes impactos ambientais.

O uso de resíduos gerados nas diversas indústrias, tem sido largamente utilizados como materiais pozolânicos em concretos e tem sido estudada nos últimos anos por vários pesquisadores que buscam as mais diversas características com o intuito de reduzir o consumo de cimento, reduzindo custos, aumentando a resistência mecânica e durabilidade e também aproveitando os resíduos industriais para diminuir a poluição ambiental.

Com o objetivo de verificar e apontar as vantagens obtidas no desempenho do concreto autoadensável (resistência à compressão axial, resistência a tração na compressão diametral, teor de água quimicamente combinada, espalhamento e escoamento), com substituição parcial de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) nos teores de 10%, 15%, 20% e 25% para relação água/aglomerante (a/ag) de 0,47 e 0,55. Através dos resultados percebeu-se um grande ganho na resistência dos traços com MCCA a partir dos 7 dias se comparado ao traço moldado somente com cimento. Foram obtidos os melhores resultados para aumento de resistência com o traço T4-25% na idade de 7 para 91 dias onde este obteve um ganho de 54,4% na resistência se comparado com o traço de referência, na a/ag 0,47 e que apontou 37,1% de ganho dentro do mesmo período. Para a relação a/ag 0,55, esse aumento de resistência também seguiu esta tendência, mas com aumentos menores, de 49,6% para o T4-25% e de 35,2% para o TR, comprovando o que já era apresentado por vários pesquisadores que, com o aumento da relação a/ag, diminui-se a resistência.

Os resultados apresentam também, que com o tempo de cura maior, aos 28 e 91 dias de idade, ocorrem avanços nas reações de hidratação dos componentes do cimento e o processo das reações pozolânicas dos traços com adição de MCCA, resultando em resistências maiores do que as apresentadas aos 7 dias. Os traços com MCCA também apresentaram maiores ganhos de resistência dos 7 aos 91 dias em relação ao traço referência moldado somente com cimento. Os resultados apresentados, mostram que é viável a produção do concreto autoadensavel para os teores estudados a substituição de cimento por MCCA, e que estas substituições contribuem para o aumento da sua resistência, além de contribuir para a diminuição do consumo de cimento e preservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: Concreto. Cinza de casca de arroz. Resistência.

ABSTRACT

The concrete is the building material most used in the world consuming large amount of non-renewable natural resources, beyond the production of raw materials for their production causing major environmental impacts.

The use of waste generated in various industries, has been widely used pozzolanic materials such as concrete and has been studied in recent years by various researchers seeking the most diverse characteristics in order to reduce the cement consumption, reducing costs, increasing the mechanical strength and durability and also taking advantage of industrial waste to reduce environmental pollution.

Aiming to check and point out the advantages gained in self-compacting concrete performance (compressive strength, tensile strength in diametrical compression content of chemically combined water, spreading and flow) with partial replacement of cement by Microsilica from rice husk ash (MCCA) in concentrations of 10%, 15%, 20% and 25% for the water / binder (w / b) of 0.47 and 0.55. From the results it was realized a large gain in resistance traits with MCCA from 7 days compared to only trace molded with cement. The best results for increasing resistance to the trait T4-25% were obtained at age 7 to 91 days where it achieved a 54.4% gain in strength compared with the reference mark in the w / b 0.47 and showed that 37.1% gain in the same period. For the ratio w / b 0.55, this increase in strength also followed this trend, but with smaller increases of 49.6% to 35.2% and T4-25% to RT, confirming what was already shown by several investigators that with the increase of the a / g, the resistance decreases.

The results also show that with increased cure time at 28 and 91 days of age advances reactions occurring in hydration of cement components and rocess of pozzolanic reactions with added traces of MCCA, resulting in higher strengths than those presented at 7 days. Traces with MCCA also showed greater gains resistance of 7 at 91 days compared to the mark only with reference molded cement. The results presented show that it is feasible the production of self-compacting concrete to the levels studied replacing cement by CACM, and that these substitutions contribute to increasing their resistance, as well as contributing to the decline in cement consumption and preserve natural resources.

Keywords: Concrete. Rice husk ash. Resistance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Ponte Akashi-Kaikyo 17
Figura 2: Granulometria do agregado miudo 35
Figura 3: Granulometria do agregado miudo 36
Figura 4: Aditivo Glenium 36
Figura 5: Slump flow test executado 39
Figura 6: Escoamento e nivelamento total do concreto 43
Figura 7 Ensaio de resistência a compressão axial 45
Figura 8:Ensaio de resistência a tração na compressão diametral 46
Figura 9:Agitador eletromagnético utilizado no ensaio de AQC 47
Figura 10: Gráfico da resistência x Idade a/ag 0,47 50
Figura 11: Gráfico da resistência x Idade a/ag 0,55 51
Figura 12: Evolução da resistencia x idade a/ag 0,47 52
Figura 13: Evolução das resistências em relação a idade a/ag 0,55 53
Figura 14: Avanço das resistências ao longo do tempo a/ag 0,47 54
Figura 15: Avanço das resistências ao longo do tempo a/ag 0,55 54
Figura 16: Resistência a tração na compressão diametral 56
Figura 17: Resultados do ensaio de água quimicamente combinada 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Na Tabela 1 - Agentes agressivos.....27
Tabela 2: Características físicas do cimento CPV-ARI.....33
Tabela 3: Propriedades da microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) 34
Tabela 4: Características do agregado miúdo.....34
Tabela 5: Características do agregado graúdo.....35
Tabela 6: Propriedades do aditivo GLENIUM 51 superplastificante.....37
Tabela 7: Consumo de materiais para cada traço a/ag 0,55.....38
Tabela 8: Consumo de materiais para cada traço a/ag=0,47 38
Tabela 9: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test para a/ag 0,55.....40
Tabela 10: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test para a/ag 0,47.....41
Tabela 11: Resultados do parâmetro H2/H1 para a/ag 0,55.....43
Tabela 12: Resultados do parâmetro H2/H1 para a/ag 0,47.....43
Tabela 13: Massa especifica a/ag 0,55 44
Tabela 14: Massa especifica a/ag 0,47 44
Tabela 15: Resistência a compressão axial em MPa 49
Tabela 16: Resistência a tração na compressão diâmetral em MPa 55
Tabela 17: Resultados da água quimicamente combinada (AQC) 57

SIGLAS

ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Concretagem

a/ag - Relação água aglomerante em massa

CAA - Concreto autoadensável

CCA - Cinza de casca de arroz

C-S-H – Silicato de cálcio hidratado

CCAM - Cinza de casca de arroz moída

CH - Hidróxido de cálcio

cm - Centímetro

CO_2 - Gás carbônico

CP's – Corpos de prova

C_2S – Silicato dicálcico

C3S - Silicato tricálcio

CV – Cinza volante

g/cm^3 - Grama por centímetro cúbico

g - Grama

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Kg/dm^3 - Quilograma por decímetro cúbico

Kg/m^3 - Quilograma por metro cúbico

LEC – Laboratório de Engenharia Civil

µm - Micrômetro

MCCA: Microssílica da cinza de casca de arroz

mm – Milímetro

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

T50 Tempo para o concreto alcançar um diâmetro de 50 cm

TL20 Tempo de fluxo para o concreto alcançar um comprimento horizontal de 20 cm

TL40 Tempo de fluxo para o concreto alcançar um comprimento horizontal de 40 cm

H2/H1 Relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa

SA – Sílica ativa ZT – Zona de transição

1 INTRODUÇÃO

A produção dos materiais de construção para a indústria da construção civil consome recursos naturais e causa poluição ambiental, sendo o cimento o material constituinte mais caro do concreto e o mais utilizado mundialmente, para cada tonelada de cimento portland produzida é liberada uma tonelada de gás carbônico (CO_2) na atmosfera.

Nesse contexto, o consumo mundial de concreto perde apenas para o consumo de água e estima-se que sejam consumidas anualmente 5,5 bilhões de toneladas de concreto, sendo a indústria do concreto a maior consumidora de recursos naturais.

Considerando estes aspectos, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais alternativos, que possam diminuir custos, preservar os recursos naturais, diminuir a poluição ambiental ao se dispensar resíduos no ambiente e, agregar características positivas ao concreto como melhor desempenho e maior durabilidade

Com o objetivo de reduzir o impacto ambiental, principalmente na fabricação do cimento e também o reaproveitamento de resíduos de diversas industrias torna-se indispensável o estudo por alternativas na busca por soluções sustentáveis. Uma das principais vantagens do CAA é a de se utilizar grande quantidade de finos na sua composição, o que proporciona à utilização de resíduos industriais como: cinzas de casca de arroz, cinza volante, sílica ativa e também metacaulim, entre outros, na substituição do cimento. Assim, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental.

Dentre as várias adições minerais existentes está a cinza de casca de arroz (CCA), a qual se caracteriza por ser um resíduo agro-industrial oriundo do processo da queima da casca de arroz para geração de energia para beneficiamento dos grãos. Quando queimada e moída de maneira adequada torna-se uma pozolana bem reativa, podendo ser usada no concreto em substituição parcial do cimento.

Há importância do estudo de uma dosagem de concreto auto-adensável com a utilização dos diferentes materiais encontrados na região, tendo em vista que, esta tecnologia apresenta vantagens econômicas, atendendo as exigências de mercado e oferecendo os benefícios que esta nova tecnologia pode obter.

A questão de estudo desta pesquisa foi: “É viável tecnicamente a utilização da cinza de casca de arroz em concreto autoadensável? Esta pesquisa tem como objetivo analisar através de dosagem experimental se é tecnicamente viável a utilização da CCA e se contribui para melhoria das propriedades mecânicas e da microestrutura do CAA. Para responder estas

questões, realizou-se a substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) em teores de 10%, 15%, 20% e 25%, relacionando os resultados obtidos com um traço de referência moldado somente com cimento, nas idades de 7, 28 e 91 dias.

Foram realizados os ensaios de resistência a compressão axial, resistência a tração na compressão diametral e água quimicamente combinada para todos os traços estudados, com o objetivo de analisar o desempenho das variáveis relacionadas com a resistência mecânica do concreto.

1.6 SISTEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Este presente trabalho apresentará a seguinte estrutura:

Capitulo 1: Neste capitulo são descritos, o tema da pesquisa, delimitação do tema, formulação da questão de estudo, objetivo geral, objetivos específicos e a justificativa.

Capitulo 2: Apresenta a revisão de literatura, abordando os principais tópicos sobre o concreto autoadensável e a utilização da cinza de casca de arroz.

Capitulo 3: Neste capitulo é apresentada a metodologia que será utilizada na realização dos ensaios propostos para este trabalho.

Capitulo 4: Neste capitulo são apresentados os resultados e analises dos mesmos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONCRETO

O concreto é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, pode-se ainda, se necessário, usar aditivos e outras adições, (NEVILLE, 1997).

O surgimento do concreto foi condicionado à descoberta de um agente aglomerante cimentício. Dessa forma, pode-se considerar como o início do concreto o século II AC, quando surgiu o primeiro aglomerante conhecido. Era um tipo especial de areia vulcânica chamada ‘pozolana’, encontrada apenas na região sul da Itália, na baía de Nápoles, próximo a Pozzuoli, de onde o nome se originou. Foi bastante usada pelos romanos em sua argamassa, dando origem a diversas construções, das quais a mais antiga de que se tem notícia é o Pórtico Amélia, construída em 193 AC. A pozolana é na verdade uma ‘areia’ especial, que reage quimicamente com cal e água, para endurecer formando uma pedra artificial, resistente mesmo quando submersa. Esse material era usado com pedras de diferentes tamanhos, mantendo as unidas e formando um tipo rudimentar de concreto (METHA e MONTEIRO, 1994).

Em outro histórico mencionado por Vasconcellos (1992) é lembrado que entre os anos de 1700 e 1800, o concreto era chamado de “pedra artificial”, uma vez que as pedras eram executadas primeiras e depois armadas. Em um segundo momento a armadura era feita e depois a pedra era trabalhada. Por volta de 1824, veio à descoberta de um processo industrial para fabricação da “pedra artificial” chamada de cimento Portland endurecido. Em 1855 foi apresentado para o mundo um novo material “cimento armado”. A novidade foi publicada pelo engenheiro Joseph Louis Lambout, que fez sua primeira experiência com um barco de concreto armado. O fato de Lambout ter construído um barco mostrou que se ele tivesse feito qualquer outra peça teria mudado a historia do concreto, por ter cobrimento insuficiente prejudicando a durabilidade.

Vasconcelos (1992) descreve ainda que, em uma feira de demonstrações em 1868, Lambout apresentou seu barco de cimento armado para mostrar que poderia ser usado em construções, mas ninguém confiou a não ser um horticultor que via naquele material a possibilidade de fazer caixas e colocar terra, pois era um material impermeável. Entre seus ensaios na área da construção civil, chegou à conclusão de que o concreto pode ser

considerado um material resistente ao fogo e que para ter essa resistência garantida o aço deve estar totalmente envolvido pelo concreto. Assim esse funcionamento do aço com o concreto é perfeito e constitui uma solução mais econômica do que os perfis com armadura. O coeficiente de dilatação térmica dos dois materiais é suficientemente iguais .

No Brasil pouco se conhece a respeito do inicio do concreto armado chamado até 1920 de cimento armado. Emilio Henrique Baumgart foi o primeiro brasileiro a participar da transferência da tecnologia do concreto armado da Alemanha para o Brasil conforme menciona Vasconcellos (1992).

Assim começa a construção de pontes, edifícios, casas, etc. Na década de 30 surge no Brasil a implantação das Normas Técnicas,com muita pesquisa e estudo. A seguir na década de 40 surge a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

A partir do ano de 1983, problemas com a durabilidade de estruturas de concreto foi um assunto discutido no Japão e desencadeou problemas para a sociedade japonesa. Uma ótima adensibilidade é necessária para obter-se estruturas duráveis, contudo, a gradual redução da quantidade de mão de-obra na indústria da construção japonesa levou a queda da qualidade das peças estruturais (OKAMURA, 1997).

Em 1986, o CAA é desenvolvido na Universidade de Tóquio e tem seu primeiro protótipo feito por Ozawa em 1988 para sanar o problema do adensamento (GOMES e BARROS, 2009). Em meados da década de 90, o CAA surge na Europa e desencadeia uma série de estudos no mundo todo.

Uma das primeiras utilizações do concreto auto-adensável foi nas duas ancoragens da ponte Akashi-Kaikyo (Figura 1), no Japão, em 1998. Na época, ela possuía o maior vão do mundo (1.991 m), e foram lançados 290.000 m³ de CAA.

Estudos feitos por entidades americanas desde 2008 para a normatização, padronização e especificações para o CAA, vem fazendo com que sua aplicação seja cada vez maior. Estima-se que já chegue à 5.000 m³ de concreto o volume utilizado por dia, em estruturas protendidas na América do Norte (ARAÚJO, 2008).

Figura 1:Ponte Akashi-Kaikyo

Fonte: Geyer (2006 apud ARAÚJO, 2008)

No Brasil, a partir de 1970, o concreto auto-adensável, com características diferentes, era utilizado somente em concretagens submersas como na Ponte Rio Niterói e nas paredes diafragmas da Estação São Bento do metrô de São Paulo. A partir de 2004, em cidades como Goiânia, Belo Horizonte, Florianópolis e Porto Alegre surgiram as primeiras aplicações de CAA em edificações. Na região de Belém, antes de 2008, somente aplicações de concretagem submersa com concreto auto-adensável foram utilizadas, na Ponte do Rio Guamá e nas bases das torres da linha de transmissão da Eletronorte no Rio Guamá e Acará, na década de 70 (GEYER; SENA, 2002 apud ARAÚJO, 2008).

2.1.1 Definição

Um concreto só pode ser definido como sendo auto-adensável se possuir três características: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (EFNARC, 2002).

A propriedade dita como fluidez é caracterizada pela capacidade que a mistura tiver de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a capacidade que o concreto tem de escoar sobre a forma, passando pelas armaduras, sem apresentar obstrução do fluxo ou segregação. E resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Ainda segundo Tutikian & Dal Molin (2008), a característica de habilidade de preencher as fôrmas sem o surgimento de bolhas de ar ou falhas de concretagem, seja um CAA ou não, é um dos principais fatores que influenciam na qualidade final do concreto endurecido. O concreto auto-adensável não pode depender de vibração externa para cumprir seu papel. O uso de qualquer tipo de vibração é estritamente proibida no CAA. Seu único meio de adensar é através do seu próprio peso, pela ação da força da gravidade.

Uma ressalva se faz na propriedade de resistência à segregação. Quando o concreto escoa dentro da fôrma atravessando obstáculos, não deve segregar. Pode-se observar que, uma mistura pode estar aparentemente coesa e quando lançada apresentar segregação. Portanto, se faz justo a utilização dos ensaios no estado fresco para se constatar que não é apresentada nenhuma segregação.

2.2.2 Vantagens do concreto autoadensável

O concreto auto-adensável esta sendo conceituado como uma das grandes revoluções na tecnologia do concreto, por meio disto Tutikian, e Dal Molin, (2008) observaram vários ganhos, entre os quais se destacam:

- Construções mais rápidas, pois o lançamento se torna rápido dispensando o adensamento;
- Com a eliminação de vibradores, facilitando o espalhamento e o nivelamento do concreto, resultando na redução de mão de obra;
- Melhora o acabamento final da superfície da obra;
- Por ser fácil de adensar, evita o aparecimento de falhas de concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração, assim aumenta a durabilidade;
- Possibilita à liberdade de formas e dimensões, o CAA preenche fôrmas curvas, esbeltas, com taxas de armadura e de difícil acesso;
- Em peças em que tem seções reduzidas, possibilita a concretagem;
- Facilitam as concretagens noturnas, obras pertos de escolas e hospitais ou em grandes centros urbanos, eliminando o barulho de vibrações;
- Reduz o número de trabalhadores;
- Há grande redução no custo final da obra, computados economicamente todos os ganhos citados acima.

2.2 CIMENTO DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL – CP V – ARI

O cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. Devido ao alto calor de hidratação, não é indicado para concreto massa. Contém adição de até 5% de fíler calcário. A ausência de pozolana não o recomenda para concretos com agregados reativos.

Com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2009).

2.3 CINZA DE CASCA DE ARROZ

Segundo a Conab, a safra 2013/14 de arroz em casca no Brasil é estimada em 12,22 milhões de toneladas, 4% maior que a safra anterior, sendo que o estado do Rio Grande do Sul é o principal produtor com cerca de 64,1 % da produção nacional, ou seja, em torno de 7,8 milhões de toneladas de arroz. Esses dados demonstram uma elevada produção deste cereal no país, destacando-se mundialmente como um dos principais produtores.

É prática comum nas indústrias de arroz a utilização da casca de arroz como combustível no processo de beneficiamento de arroz, o que gera uma quantidade considerável de cinza residual que geralmente não tem uma destinação específica sendo simplesmente dispensada no meio ambiente, ocasionando sérios problemas de ordem ambiental (DUART, 2008).

Segundo Mehta & Monteiro (1994), cada tonelada de arroz em casca produz cerca de 200 kg de casca, que por combustão formam 40 kg de cinza. Considerando os dados anteriores, pode-se constatar que o Rio Grande do Sul irá gerar cerca de 1,56 milhões de toneladas de casca no ano de 2011.

A CCA resulta do processo de combustão, apresentando formas de estruturais variáveis dependendo do tipo de queima, tempo e temperatura de oxidação. Vários autores já estudaram a questão da influência das condições de tempo e temperatura de exposição no processo de combustão da CCA (POUEY, 2006).

Quando queimada e moída corretamente, a CCA torna-se uma pozolana já estudada por vários pesquisadores no Brasil. Sua utilização é uma ótima solução para a redução da poluição ambiental ocasionada pelo descarte deste material.

Segundo Dal Molin (2005), o arroz contém grande quantidade de sílica, principalmente na casca. A casca de arroz é composta por cerca de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica. A eficiência da cinza de casca de arroz como material pozolânico esta relacionado ao seu processo de obtenção. Cinzas provenientes da combustão não controlada geralmente contem uma grande proporção de minerais de sílica não reativos (cristalinos) e de baixo valor pozolânico devendo ser micronizadas para desenvolver a atividade pozolânica. A queima controlada, com temperaturas entre 500 a 700°C, possibilita à obtenção de cinzas amorfas de alta pozolanicidade.

2.4.1 Influência da temperatura de queima

A temperatura de queima da cinza é um fator muito importante para determinar a morfologia da cinza da casca do arroz. Estudos já realizados verificaram que as cinzas apresentam morfologias diferentes de acordo com o tipo de queima a que foi submetida. A atividade pozolânica da CCA está diretamente relacionada à composição morfológica como também ao tempo de moagem desta cinza (TASHIMA et al., 2004).

A CCA quando produzida a partir de queima controlada, com temperatura inferior a 600 ºC possui na sua morfologia a presença de sílica no estado amorfo, obtendo desta forma maior reatividade com o cimento e com a cal. Na realidade não se tem relatos deste tipo de procedimento, porque a maior parte da cinza é produzida sem controle de temperatura. Quando queimada a temperaturas muito elevadas, observa-se o surgimento de fases cristalinas na estrutura morfológica, diminuindo desta forma a reatividade com outros componentes,

sendo desta forma inviável para utilização em concretos e argamassas (TASHIMA et al., 2004).

De acordo com METHA e MONTEIRO (1994) a cinza residual é classificada como pozolana pouco reativa, então sugere-se que este material seja moído até se obter um pó fino para que possa ter atividade pozolânica. Algumas pesquisas comprovam que mesmo as cinzas originadas de processos de queima não controlados podem apresentar características pozolânicas satisfatórias (ISAIA, 1995; RÊGO et al., 2004; TASHIMA et al., 2004; FAGURY & LIBÓRIO, 2004; SENSALE & REINA, 2004 apud SACILOTO, 2005).

NAIR et al. (2008) observaram que de acordo com algumas técnicas como, análises químicas (Absorção por Massa Atômica, Fluorescência de Raio-X), formação de silicato de cálcio hidratado (Difração de Raio-X), medidas de condutividade elétrica, ressonância magnética nuclear e microscopia eletrônica de varredura, que a temperatura considerada ótima para a formação de CCAs reativas devem estar na faixa de 500 ºC a 700 ºC.

2.4.2 Influência da moagem da CCA

Quanto à moagem da cinza residual, alguns pesquisadores como SANTOS e PRUDÊNCIO (1998), CORDEIRO (2006), entre outros, observaram que o tempo ideal de moagem, ou seja, a granulometria ideal da cinza também é variável. Um dos fatores que influenciam no tempo de moagem da cinza é a temperatura da casca do arroz, pois o aumento da temperatura promove o agrupamento das partículas. Neste caso, é necessário um tempo de moagem maior ou ainda uma relação maior entre o peso de bolas do moinho e a quantidade de cinza a ser moída.

SANTOS E PRUDÊNCIO (1998) apud TASHIMA et al (2004) pesquisaram o efeito do tempo de moagem na pozolanicidade da cinza e na resistência à compressão de argamassas. Eles observaram que quando se aumenta o tempo de moagem da cinza obtêm-se uma melhoria significativa nos resultados dos ensaios e que a resistência a compressão da argamassa é maior com um teor de substituição de 15%.

CORDEIRO (2006) apud SILVA (2009) verificou em seus estudos de moagem desenvolvidos com a cinza residual da casca de arroz possibilitaram verificar que a moagem ultrafina foi adequada para conferir elevada atividade pozolânica ao material. As moagens realizadas por períodos de 120 min e 240 min em moinho vibratório determinaram às cinzas de maior atividade pozolânica, tanto com relação aos desempenhos mecânicos quanto químicos.

MEIRA et al (2007) apud SILVA (2009) observaram que concretos com 15% e 20% de CCA (substituto parcial do cimento) moída e com 15% de CCA natural em ensaios realizados nos corpos-de-prova, apresentaram acréscimos nas resistências axiais aos 91 dias em relação aos concretos de referência (sem adição mineral). Com relação aos concretos com 25% de CCA natural tiveram uma queda de cerca de 30%, em média, na resistência à compressão aos 91 dias.

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL FRESCO X CONCRETO AUTOADENSÁVEL

2.4.1 Propriedades do concreto fresco autoadensável

Segundo Repette (2005), é no estado fresco que podemos perceber as diferenças do concreto convencional para o concreto autoadensável. Para o concreto ser considerado autoadensável este deve apresentar elevada fluidez e estabilidade da mistura, que lhe conferem três características essenciais: fluidez ou habilidade de preenchimento dos espaços; coesão ou habilidade de passar por restrições; capacidade de resistir à segregação.

Como requisitos mínimos para obtenção de um CAA a ABNT NBR 15823 (2010), estabelece que o concreto deve apresentar: fluidez ou habilidade de preenchimento, viscosidade plástica aparente em fluxo livre ou confinado, habilidade passante em fluxo livre ou confinado.

Tais características diferenciam o CAA de um concreto fluido, que se caracterizam apenas pela sua grande fluidez. A habilidade do CAA em preencher formas ou fluir entre os obstáculos é comandada pela alta fluidez e alta coesão da mistura. Já a capacidade de fluir bem entre os obstáculos é comandada pela moderada viscosidade da pasta e da argamassa e pelas propriedades dos agregados, principalmente, o diâmetro máximo dos agregados. A fim de manter a estabilidade ou resistência à segregação da mistura de CAA, alguns cuidados devem ser tomados no sentido de se manter a consolidação e a uniformidade da mistura. Portanto, os principais mecanismos que comandam essas propriedades são a viscosidade e a coesão da mistura (EFNARC, 2002).

Diferentes métodos de ensaios foram desenvolvidos ao longo dos anos, com o objetivo de caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco. Estas propriedades têm sido caracterizadas usando técnicas recentemente desenvolvidas e estão ainda em fase de evolução. Alguns dos métodos de ensaios mais utilizados para a caracterização de tais propriedades são:

ensaio de espalhamento do cone de Abrams (Slump Flow Test), Funil V (V-Funnel), Caixa L (L-Box), Tubo em U e o Ensaio de auto-adensabilidade para o concreto. Para o estabelecimento de parâmetros de capacidade de preenchimento são utilizados os ensaios de espalhamento no cone de Abrams e Funil V, para os parâmetros de capacidade de passagem entre as armaduras é utilizada a Caixa L, e finalmente para a verificação quanto à presença de segregação é utilizado o ensaio do Tubo em U (EFNARC, 2002).

Para a ABNT NBR 15823 (2010), outras propriedades do CAA devem ser conferidas, isso para estruturas de grande complexidade estrutural, alta densidade de armadura e outros fatores, por exemplo, a determinação da resistência à segregação pelo método da coluna de segregação.

a) Fluidez ou habilidade de preenchimento

A ABNT NBR 15823 (2010, p.2), define a fluidez ou habilidade de preenchimento como "*capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços*".

É no método de cone de Abrams, que suas propriedades são avaliadas, com espalhamento do concreto em fluxo livre (ABNT NBR 15823, 2010).

b) Coesão ou habilidade passante em fluxo livre ou confinado

Segundo a ABNT NBR 15823 (2010) habilidade passante é a propriedade que permite o concreto escoar pela fôrma, passar pelas armaduras e obstáculos sem obstrução do fluxo ou segregação. Os métodos do anel J com fluxo livre do concreto ou método da caixa L com fluxo confinado do concreto avaliam esta propriedade.

Esta propriedade é controlada pela viscosidade moderada da argamassa e a dimensão máxima do agregado (REPETTE, 2005).

c) Viscosidade Plástica aparente em fluxo livre ou confinado.

Conforme relata a ABNT NBR 15823 (2010), a consistência da mistura (coesão) interfere na resistência do concreto ao escoamento, isto está diretamente relacionada com as propriedades de viscosidade plástica aparente do concreto. Quando há o aumento de viscosidade, a resistência ao escoamento também aumenta.

O cone de Abrams (t500) ou o método do funil V com fluxo confinado do concreto avaliam esta propriedade do concreto autoadensável (CAA) (ABNT NBR 15823, 2010).

2.4.2 Propriedades do concreto fresco

São propriedades do concreto fresco: a trabalhabilidade, a consistência, a coesão e a exsudação.

a) Trabalhabilidade

A ASTM – American Society for Testing and Materials – define a trabalhabilidade como a propriedade que determina o esforço exigido, com perda mínima de homogeneidade, para as operações de lançamento, adensamento e acabamento de uma quantidade de concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

A Trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento (GIAMUSSO, 1992).

Destaca-se também como trabalhabilidade do concreto, a propriedade de ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem mudança de homogeneidade (ALVES, 1993).

A trabalhabilidade é uma propriedade composta, contendo dois componentes principais:

- Fluidez – descreve a facilidade de mobilidade;
- Coesão – descreve a resistência à exsudação e à segregação.

Em geral, a trabalhabilidade das misturas do concreto é afetado pelos seguintes itens:

- Relação água/materiais secos;
- Tipo e consumo de cimento;
- Teor de argamassa;
- Tamanho, textura e forma do agregado;
- Aditivos e adições.

b) Consistência

A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone ou pelo

Aparelho Vebe. Sua perda é definida como a perda do abatimento do concreto fresco com o passar do tempo (METHA; MONTEIRO, 2008).

A água presente na junção de grãos permite o movimento relativo das partículas, formando, com isso, uma película de água no entorno da superfície sólida que elimina o atrito interno entre as partículas, permitindo à mistura deformar-se sob o efeito de qualquer processo e assentamento. Esta propriedade é chamada de consistência (ALVES, 1993).

A necessidade ou demanda de água é função da área superficial total das partículas de material sólido, isto é, cimento e agregados, e da consistência desejada. Em geral, para diminuir a demanda de água se faz necessário aumentar o tamanho máximo do agregado, pois essa medida diminui a área total das partículas (GIAMUSSO, 1992).

c) Segregação e Exsudação

Entende-se por coesão a propriedade do concreto que mantém os componentes misturados (GIAMUSSO, 1992).

A falta de coesão provoca a segregação. Define-se segregação como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco em que a sua distribuição deixa de ser uniforme (METHA; MONTEIRO, 2008).

As diferenças de tamanho das partículas e da massa específica dos componentes constituem a causa primária da segregação, podendo ser controlada pela escolha de granulometria adequada e pelo cuidado no manuseio (NEVILLE, 1997).

Há dois tipos de segregação (METHA; MONTEIRO, 2008):

A separação dos agregados da argamassa, característica de concreto seco;

A exsudação, característica de concreto muito fluido.

Quando o concreto, devido à falta de finos, não consegue reter a água, essa sobe, acumulando-se na superfície livre do concreto ainda fresco (GIAMUSSO, 1992). Esta propriedade é dita exsudação, fenômeno demonstrado por meio do surgimento da água na superfície, após o concreto ter sido lançado e adensado.

A quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos (ANDRIOLO, 1984).

2.5 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

A interface pasta agregado é um ponto importante no estudo da microestrutura do concreto pois esta fase é o ponto fraco do concreto em relação a resistência mecânica do mesmo, e suas características e componentes são determinantes das características do concreto endurecido em relação a resistência mecânica e durabilidade.

Metha (1994) define a zona de transição como sendo o elo fraco da corrente e como fase limite da resistência do concreto.

As propriedades físicas e mecânicas da pasta de cimento Portland, das argamassa e dos concretos resultam de uma série de processo complexos que acontecem durante a mistura e lançamento, incluindo as reações de hidratação (ROY, IDORN, 1993).

Quando o cimento entra em contato com a água,os compostos se hidratam e preenchem os espaços originalmente ocupados pela água e este preenchimento é tanto maior quanto menor a relação água/aglomerante (a/ag).

O concreto endurecido é composto por hidratos pouco cristalinos como: silicato de cálcio hidratado (C-S-H); o Aluninato de cálcio e os sulfoaluminatos mais cúbicos e cristalinos e também o hidróxido de cálcio (CH) que é mais hexagonal e cristalino.

A hidratação do cimento resulta numa estrutura complexa, composta por grãos de cimento anidros, produtos de hidratação e poros. No concreto endurecido a fase sólida é composta por agregados, hidratos e grãos de clinquer anidros, no entanto, a fase porosa contem vazios preenchidos por água ou ar, que apresentam uma forma muito complexa e as pastas e argamassas tem sua microestrutura modificada durante a hidratação ao longo tempo, afetando assim as propriedades físicas e químicas. Sua microestrutura na zona de transição dos concretos convencionais é inerentemente fraca e impede o concreto a funcionar como um verdadeiro material composto (AITCIN, 2000).

A presença de grandes poros e microfissuras diminui a a resistencia do concreto e a resistencia das partículas do agregado não chega a desempenha papel algum na resistência mecânica, já que não há transferência de tensão entre a massa da pasta e o agregado.

2.6 DURABILIDADE DO CONCRETO

Em relação ao concreto simples, armado e protendido, a durabilidade consiste na capacidade que essas estruturas têm de resistir às influências ambientais previstas, condicionadas pelo eventual ataque de agentes agressivos a que estejam sujeitas durante sua vida em serviço (BAUER, 2000).

A durabilidade do concreto de cimento Portland é a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração (METHA; MONTEIRO, 2008).

Tabela 1: - Agentes agressivos

Agentes	**Concreto**	**Armadura**
Mecânicos	Abrasão, choque, vibração fadiga	
Físicos	Temperatura	
Físico-químicos		Corrosão eletroquímica Corrosão sob tensão
Ecológicos Químicos	Água pura Água carbônica Água sulfatada Água do mar Agentes reativos	Oxidação
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	
Biológicos	Bactéria	

Fonte: BAUER, 2000

Alguns fatores afetam a durabilidade do concreto. São eles:

- Características dos materiais utilizados no concreto;
- Composição do concreto;
- Condições de exposição;
- Ações mecânicas, movimentação de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação;
- Práticas usadas durante a construção;
- Critérios de projeto.

A durabilidade é assegurada pela baixa permeabilidade, dificultando o acesso da água ao interior da massa de concreto. Isto se consegue aumentando a compacidade por um estudo cuidadoso de granulometria, consumo mínimo de cimento e baixando a relação água/cimento (PETRUCCI, 1978).

O concreto, para ser durável, necessita ser bem adensado, ter baixa permeabilidade, baixa absorção, baixa retração e não ter trincas (ANDRIOLO, 1984).

2.7 PATOLOGIAS DO CONCRETO

Segundo Azevedo (2011), a patologia é um termo tradicionalmente utilizado na medicina e refere-se à ciência que estuda as doenças, suas origens, os sintomas, os agentes causadores e os mecanismos ou processo de ocorrência. Nas estruturas de concreto, essas doenças correspondem aos danos ou defeitos que comprometem o desempenho e a vida útil de uma estrutura.

Normalmente as manifestações patológicas apresentam características comuns que permitem aos especialistas determinar a causa e os possíveis mecanismos que conduziram ao surgimento e as conseqüências para a estrutura caso não haja intervenção corretiva.

Há casos em que o diagnóstico não é tão fácil, pois vários fatores ou ainda fatores ocultos que podem ter contribuído para o surgimento da manifestação patológica, exigindo intervenções para o correto diagnóstico, onde a causa da manifestação só pode ser constatada com intervenção.

“As patologias podem ocorrer numa estrutura tanto na fase de construção como durante o período pós entrega e uso”, sendo que as condições apresentadas por uma estrutura que favoreça o desenvolvimento dessas manifestações patológicas são de responsabilidade do projetista, enquanto que o construtor responderá pelas falhas construtivas por inconformidade com o projeto,com as normas de execução ou com a escolha de material inadequado AZEVEDO (2011).

Em princípio, a deterioração do concreto pode ocorrer a partir da degradação da pasta, do agregado ou de ambos. Brandão (1999) diz que, na prática, a degradação da pasta é apontada como a principal causa, uma vez que, sendo o agregado um tipo de rocha, possui maior resistência ao ataque químico. Além disso, os danos na pasta são, em geral, mais severos do que nos agregados.

A deterioração do concreto é iniciada, geralmente, por processos químicos, embora fatores físicos e mecânicos também possam estar envolvidos, em combinação ou não, com os processos químicos. Podem-se distinguir outros tipos de deterioração, como, por exemplo, os desencadeados por processos biológicos ou, ainda, eletroquímicos, como é o caso da corrosão de armaduras embutidas nos concretos.

Na maioria dos processos físicos e químicos que podem afetar a durabilidade das estruturas de concreto, dois fatores predominantes estão envolvidos, a saber: os mecanismos de transporte através dos poros e das fissuras – por difusão, sucção capilar ou pressão hidráulica – e a presença de água.

A permeabilidade e a capacidade de absorção são as propriedades do concreto diretamente relacionadas com a resistência ao ataque químico da pasta de cimento. A durabilidade do concreto é essencialmente condicionadas por essas duas propriedades, ambas diretamente influenciadas pela porosidade. Todos os fatores que afetam a porosidade do concreto interferem também na sua permeabilidade e capacidade de absorção e, portanto, na sua resistência ao ataque químico. Dentre estes fatores, destacam-se: relação água/cimento; quantidade, composição e finura do cimento; aderência entre pasta e o agregado; presença e quantidade de adições e de aditivos; qualidade da execução; etc (BRANDÃO, 1999).

Assim como a porosidade, Brandão (1999) também indica que a fissuração proporciona de igual modo facilidades para que os agentes agressivos penetrem no concreto e iniciem sua ação destruidora na estrutura. As fissuras vão ocorrer sempre que a tensão no concreto for maior do que a sua resistência à tração, que é reconhecidamente baixa. A ocorrência destas antes do endurecimento da massa, geralmente, resultam de assentamento plástico diferencial ou de retração plástica superficial. A formação dessas fissuras está relacionada diretamente com a exsudação, fenômeno caracterizado pelo deslocamento da água da mistura em direção à superfície, e com a velocidade de evaporação desta água. As fissuras que ocorrem após o endurecimento da massa, porém antes de serem aplicadas as cargas, podem resultar de retração por secagem, movimentações de origem térmica ou de outras causas como reação álcali-agregado, corrosão das armaduras, molhagem e secagem entre outras.

Helene (2001) cita os mecanismos de deterioração relativos ao concreto:

- Lixiviação, cuja sintomatologia básica é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, eflorescências de carbonato, elevada retenção de fuligem e risco de desenvolvimento de fungos, com conseqüente redução do pH do estrato aquoso dos poros superficiais;
- Expansão por sulfatos, cuja sintomatologia é uma superfície com fissuras aleatórias, esfoliação e redução significativa da dureza e resistência superficial do concreto, com conseqüente redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais. Os sulfatos presentes na água do mar, nas águas servidas, nas águas industriais e nos solos úmidos e gessíferos, podem acarretar reações deletérias de expansão, com formação de compostos expansivos do tipo etringita e gesso secundário;
- Expansão por reação álcali-agregado: dentre os agregados reativos pode-se destacar a opala, a calcedônia, as sílicas amorfas, certos calcários, que, para

conduzir a reações significativamente deletérias, requerem estar em presença de elevada umidade. A sintomatologia básica é uma expansão geral da massa de concreto, com fissuras superficiais e profundas;

- Reações superficiais deletérias: destaca-se os problemas oriundos com agregados que contém pirita, que pode acarretar manchas, cavidades e protuberâncias na superfície dos concretos.

➢ Quanto aos mecanismos de deterioração relativos à armadura, Helene (2001) aponta:

- Despassivação por carbonatação: o fenômeno não é perceptível a olho nu, não /reduz a resistência do concreto e até aumenta a sua dureza superficial. A identificação da frente ou profundidade de carbonatação requer ensaios específicos. Ao atingir a armadura, dependendo das condições de umidade ambiente, pode promover séria corrosão, com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes;
- Despassivação por cloretos: eventualmente, teores elevados de cloreto podem ter sido introduzidos durante o amassamento do concreto, geralmente através do excesso de aditivos aceleradores de endurecimento. O fenômeno não é perceptível a olho nu, não reduz a resistência do concreto, nem altera seu aspecto superficial. A identificação da frente ou da profundidade de penetração de certo teor crítico de cloreto requer ensaios específicos. Ao atingir a armadura, pode promover séria corrosão, com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes.

Toda estrutura requer manutenção durante sua vida útil e a má conservação é também um fator relevante para o surgimento de patologias, sendo então o usuário responsável pela durabilidade dessa estrutura.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é classificada como básica, onde objetiva novos resultados gerados para se ter novos resultados úteis no avanço de novas tecnologias.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos esta pesquisa caracteriza-se por ser bibliográfica e experimental. Bibliográfica, pois foi elaborada a partir de material já publicado, constituído de livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na internet e, experimental porque serão realizados ensaios em laboratório para análise e interpretação dos resultados.

Da forma de abordagem esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa.

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Inicialmente será realizada uma revisão bibliográfica para suporte de informações necessárias para o entendimento da pesquisa.

Após esta pesquisa sobre o assunto, serão realizados ensaios de caracterização dos materiais, importante para o processo de dosagem do concreto, tais como: ensaio de granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura etc.

O estudo de dosagem será executado através do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), na qual serão executados os seguintes traços:

· Traço referência R, moldado somente com cimento;

· Traço T1, moldado com 10% de substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

· Traço T2, moldado com 15% de substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz;

· Traço T3, moldado com 20% de substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz.

· Traço T4, moldado com 25% de substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz.

Para cada traço serão adotadas duas relações a/ag: 0,47 e 0,55, totalizando 10 diferentes traços.

Serão realizados os seguintes ensaios:

- Resistência a compressão axial aos 7, 28 e 91 dias;
- Resistência a tração na compressão diametral 28 e 91 dias;
- Água quimicamente combinada 28 dias;
- Caixa L;
- Espalhamento.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Aglomerantes

Os aglomerantes utilizados no estudo foram cimento Portland e a microssílica da cinza de casca de arroz.

3.3.1.1 Cimento

O cimento é um material com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água.

O cimento utilizado é o CPV-ARI, atingindo altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clinquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquire elevadas resistências, com maior velocidade. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado e seu alto teor de C3S gera maior disponibilidade de hidróxido de cálcio para as reações pozolânicas. A Tabela 2 apresenta as características químicas deste cimento.

Tabela 2: Características físicas do cimento CPV-ARI

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	3,22
Massa Unitária Solta (Kg/dm³)	1,11
Tempo de pega (hrs)	3,5
Finura # 0,075 (%)	0,09

Fonte: Panzera, 2011

3.3.1.2 Microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)

A cinza de casca de arroz é proveniente da Indústria Cereais Passo da cidade de Itaqui-RS, identificada como “ Micro sílica MS – 325”, sendo um produto obtido a partir da industrialização controlada da Cinza de Casca de Arroz (CCA). É uma microssílica cuja base é uma sílica finamente moída de coloração cinza preto. Foram realizados estudos da

caracterização desta, pela CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, na qual estão apresentados na Tabela 4 algumas propriedades.

Tabela 3: Propriedades da microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	2140
Sílica (SiO2) in natura (%)	87,70
Sílica (SiO2) nas cinzas (%)	95,70
Umidade de higroscopia (%)	1,71
Teor de não queimados (%)	8,65
Diâmetro médio (µm)	22,72

Fonte: Cientec, 2010

3.3.2 Agregados

3.3.2.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado neste estudo é areia média proveniente da região de Santa Maria – RS. Os ensaios de caracterização do material foram feitos no Laboratório de Engenharia Civil - LEC, utilizando os ensaios abaixo relacionados.

· Composição Granulométrica – NBR 7217

· Massa específica do agregado miúdo – NBR 9776

· Massa unitária solta – NBR 7251

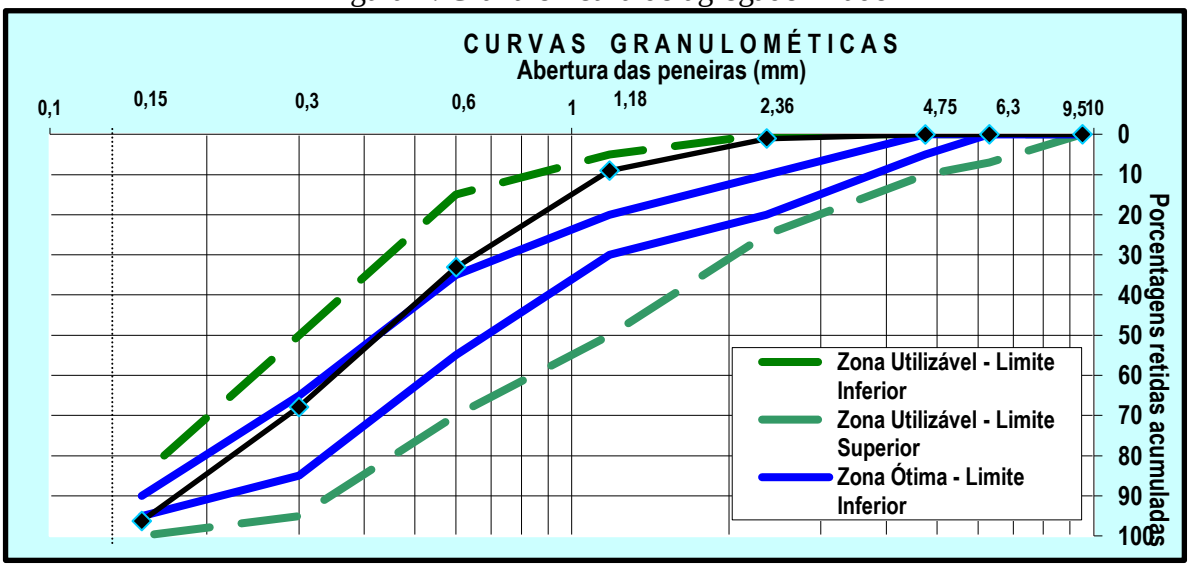
Tabela 4: Características do agregado miúdo

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	2,584
Massa Unitária Solta (Kg/dm³)	1,585
Diâmetro máximo (mm)	1,2

Módulo de Finura (%)	1,84

Fonte: Próprio autor

Figura 2: Granulometria do agregado miudo



Fonte: Autoria Própria

3.3.2.2 Agregado graúdo

A pedra brita consumida na pesquisa é Brita 0, de origem basáltica, proveniente da região de Ijuí, RS. Os ensaios de caracterização do material serão feitos no Laboratório de Engenharia Civil – LEC utilizando os ensaios abaixo relacionados.

· Composição Granulométrica – NBR 7217

· Massa específica e absorção do agregado graúdo – NBR 9937

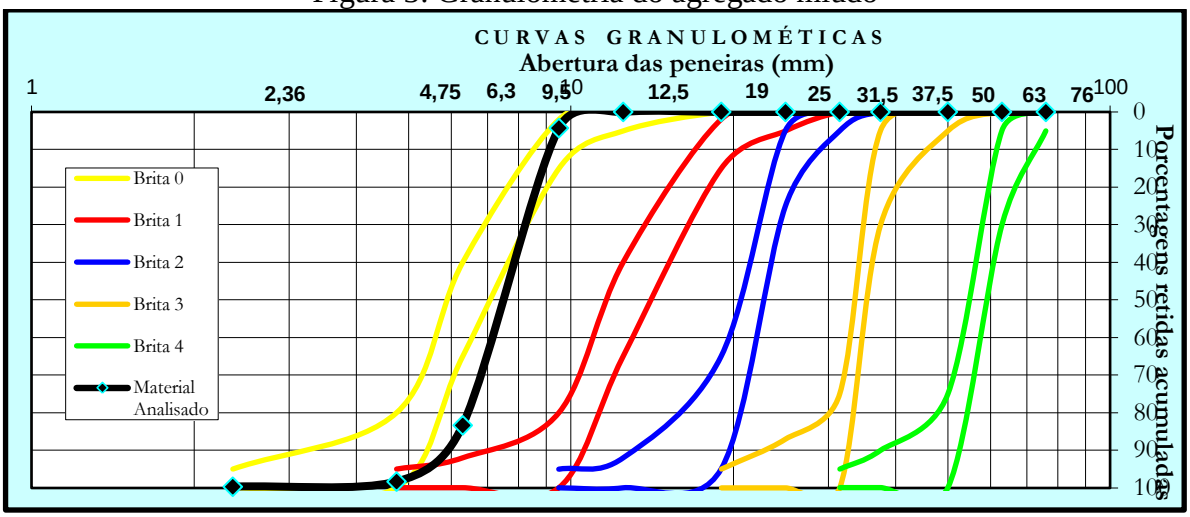
· Massa unitária solta – NBR 7251.

Tabela 5: Características do agregado graúdo

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	2,883
Massa Unitária Solta (Kg/dm³)	1,557
Diâmetro máximo (mm)	9,5
Módulo de Finura (%)	6,01

Fonte: Próprio autor

Figura 3: Granulometria do agregado miudo



Fonte: Próprio autor

3.3.3 Aditivo

Para as misturas com substituição de cimento por cinza de casca de arroz, será utilizado o aditivo Glenium 51 superplastificante (figura 2) para que se atinjam as consistências desejadas.

Figura 4: Aditivo Glenium

Fonte: Próprio autor

Tabela 6: Propriedades do aditivo GLENIUM 51 superplastificante

Propriedade	Resultado
Base química	Policarboxilatos
Aspecto	Bege
Densidade	1,067 a 1,107 g/cm²
Ph	5 a 7
Sólidos	28,5 a 31,5%
Viscosidade	95 a 160 cps

Fonte: Manual GLENIUM

3.3.4 Água

Para a produção dos traços será utilizada água proveniente de poço artesiano que abastece o LEC – Laboratório de Engenharia Civil da Unijuí.

3.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

3.4.1 Dosagem dos traços

Será adotado o Método de Dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para a realização da pesquisa. Inicialmente será determinada a resistência padrão de 25 MPa aos 28 dias para a Resistência Característica do Concreto a Compressão, de acordo com a norma NBR 12655/96, sendo a resistência média do concreto à compressão obtida através da equação abaixo.

Equação 1: $Fcj = Fck + 1{,}65 \times Sd$. Onde:

Fcj: resistência a compressão do concreto prevista para a idade de “j” dias, em MPa;

Fck: resistência a compressão do concreto característica, em MPa;

Sd: desvio padrão de dosagem, em MPa. Este parâmetro terá o valor de 4, pois é um experimento realizado em laboratório onde suas variáveis são controladas com maior rigor.

A resistência de calculo prevista para a idade de 28 dias foi de Fcj = 31,6 MPa. Através do Fcj obtido e dos resultados de caracterização dos materiais, será calculado o consumo de materiais para o traço de referência (TR), sem substituição de cimento. Para o traço T1 será feita a substituição de 10% de cimento por MCCA, o T2 terá a substituição de 15%, o T3 a substituição de 20% e o T4 com substituição de 25% de Cinza de Casca de Arroz, sendo que a substituição de cimento por MCCA será feita em massa. A tabela 7 e 8 indicam as proporções da mistura para cada traço.

Tabela 7: Consumo de materiais para cada traço a/ag 0,55

Traço	Cimento (Kg)	MCCA (Kg)	Brita 0 (Kg)	Areia (Kg)	Aditivo (g)	a/ag (final)
TR	20,91		50,3	37,5	104,55	0,55
T1- 10 %	18,82	2,09	50,3	37,5	104,55	0,57
T2- 15 %	17,77[2]	3,14	50,3	37,5	104,55	0,57
T3-20 %	16,73	4,18	50,3	37,5	104,55	0,58
T4- 25 %	15,68	5,23	50,3	37,5	104,55	0,59

Fonte: Próprio autor

A mistura dos traços deverá ser feita em betoneira, seguindo a norma NBR 5738 – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Serão confeccionados 9 corpos de prova (CP's) cilíndricos para cada traço, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20cm de altura, sendo 3 para ser rompido a idade de 7 dias, 3 para a idade de 28 dias e 3 para a idade de 91 dias. Passadas determinadas horas da moldagem, os CP's serão desmoldados e acondicionados na câmara úmida do LEC onde permaneceram para cura e posterior realização dos ensaios.

Tabela 8: Consumo de materiais para cada traço a/ag=0,47

Traço	Cimento (Kg)	MCCA (Kg)	Brita 0 (Kg)	Areia (Kg)	Aditivo (g)	a/ag (final)
TR	22,1		50,3	36,6	110,5	0,47
T1- 10 %	19,9	2,2	50,3	36,6	110,5	0,49
T2- 15 %	18,8	3,32	50,3	36,6	110,5	0,49
T3-20 %	17,67	4,4	50,3	36,6	110,5	0,50
T4- 25 %	16,59	5,55	50,3	36,6	110,5	0,51

Fonte: Próprio autor

3.4.3 Slump Flow Test

De acordo com Tutikian (2004), o slump flow test é utilizado para medir a capacidade do concreto autoadensável de fluir livremente sem segregar. Este ensaio foi desenvolvido no Japão para ser utilizado em concretos submersos. A medida da fluidez do CAA é o diâmetro do círculo formado pelo concreto.

Figura 5: Slump flow test executado

Fonte: Próprio autor

Quadro 1: Limites de resultados para o Slump Flow Test – segundo diversos autores.

Referências	Espalhamento (mm)	
	Mínimo	Máximo
EFNARC (2002)	650	800
Gomes (2002)	600	700
Gomes et al. (2003a)	600	750
Araújo et al. (2003)	650	800
Rigueira Victor et al. (2003)	600	800
Peterssen (1998 e 1999)	550	700
Barbosa et al. (2002)	650	725
Tviksta (2000)	600	-
Coppola (2000)	600	750
Palma (2001)	650	750

Fonte: Tutikian, 2004

Pode-se afirmar que o slump flow test é uma adaptação da NBR NM 67 – (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998b) concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – método de ensaio e da NBR NM 68 (ABNT, 1998c): concreto– Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff.

Neste ensaio, primeiramente deve-se umedecer o cone de Abrams e apoiá-lo sobre uma chapa metálica nivelada também umedecida. Então, preenche-se o cone de Abrams com concreto até o topo sem compactação, em seguida, ergue-se o cone verticalmente deixando o concreto fluir livremente sobre a superfície da chapa metálica.

Tabela 9: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test para a/ag 0,55

Traço	Espalhamento (mm)
TR	750
T1- 10 %	680

T2- 15 %	750
T3-20 %	650
T4- 25 %	700

Fonte: Próprio autor

Tabela 10: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test para a/ag 0,47

Traço	Espalhamento (mm)
TR	680
T1- 10 %	720
T2- 15 %	740
T3-20 %	680
T4- 25 %	730

Fonte: Próprio autor

Apartir dos resultados apresentados na tabela 10, observa-se que todos os traços de concreto, da relação a/ag 0,55 e a/ag 0,47 apresentaram resultados de espalhamento maiores que 600 mm e menores que 800 mm, por isso se enquadram nas faixas de intervalos apresentados na literatura por diversos autores listados no quadro 1, portanto todos podem ser considerados concretos autoadensáveis.

3.4.2 Ensaio com a Caixa L

Esse ensaio é um dos mais utilizados pelos pesquisadores para verificação da propriedade do CAA de preenchimento de fôrmas no estado fresco, dentre eles; Gomes (2002), Rooney (2002), Araújo (2003), Tutikian et al. (2004).

Neste ensaio é medida a fluidez do concreto, ou seja, a sua capacidade de transpor obstáculos sem que ocorram perdas na sua coesão. O equipamento possui uma portinhola que aprisiona o concreto na sua parte vertical e depois o libera para que o concreto passe por três

barras verticais, simulando a passagem do concreto por obstáculos encontrados em uma obra, como por exemplo, na concretagem de vigas ou pilares.

Primeiramente, a caixa L deve ser umedecida e colocada em solo ou piso nivelado. Em seguida, é preciso fechar a sua portinhola e preencher a parte vertical com concreto utilizando colheres ou conchas para concreto. São necessários para este ensaio aproximadamente 12 litros de concreto, os quais, após aberta a portinhola, escoam por entre as barras metálicas até atingir toda a parte horizontal da caixa, tendendo ao nivelamento.

Com este ensaio se obtêm os parâmetros T20 e T40 e H2/H1, os quais são respectivamente, o tempo para o fluxo de concreto alcançar o comprimento horizontal de 20 cm, 40 cm e a relação final entre a altura de concreto na parte horizontal e a altura de concreto que permaneceu na parte vertical após a abertura da portinhola e escoamento de todo o concreto.

Quadro 2: Limites de resultados e dimensões para ensaio com Caixa L – diversas referências.

Referência	Medidas			Dimensões (mm)				
	H2/H1	T20 (s)	T40 (s)	A	B	C	D	E
EFNARC (2002)	0,80	-	-	100	200	600	800	150
FURNAS (2004d)	-	-	-	100	200	600	700	150
Gomes (2002)	0,80	<1	<2	100	200	600	700	150
Gomes et al. (2003a)	0,80	0,5-1,5	2,0-3,0	100	200	600	700	150
Araújo et al. (2003)	0,80	-	-	-	-	-	-	-
Rigueira Victor et al. (2003)	0,80	<1,50	<3,50	-	-	-	-	-
Peterssen (1998 e 1999)	0,80	-	-	100	200	600	700	150
Barbosa et al. (2002)	-	-	-	100	-	600	700	150
Tviksta (2000)	0,85	-	-	100	200	600	-	150
Coppola (2000)	0,90	-	-	120	300	600	780	200
Palma (2001)	0,80	-	3,0-6,0	-	-	-	-	-

Fonte: Tutikian (2004)

Figura 6: Escoamento e nivelamento total do concreto

Fonte: Próprio autor

Tabela 11: Resultados do parâmetro H2/H1 para a/ag 0,55

Traço	H2/H1
TR	0,90
T1- 10 %	0,85
T2- 15 %	0,83
T3-20 %	0,8
T4- 25 %	0,8

Fonte: Próprio autor

Tabela 12: Resultados do parâmetro H2/H1 para a/ag 0,47

Traço	H2/H1
TR	0,9
T1- 10 %	0,9
T2- 15 %	0,88
T3-20 %	0,81
T4- 25 %	0,72

Fonte: Próprio autor

Segundo Gomes (2002), o concreto só pode ser considerado como autoadensável se H2/H1 = 0,8 a 0,85. Já para a EFNARC (2002), H2/H1 = 0,8 a 1. Analisando-se as Tabelas, observa-se que todos os traços de concreto apresentaram parâmetros de H2/H1 maiores que 0,8; exceto o traço T4 da relação a/ag 0,47, o qual teve resultado de 0,72 ficando assim, fora do intervalo estabelecido pelos autores portanto, os demais podem ser considerados concretos autoadensáveis. Os parâmetros T20 e T40 não foram medidos por estes não serem fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa e por necessitarem de equipamento especial para verificações e anotações dos tempos de esoamento, tudo isto para se ter precisão nos tempos observados.

3.4.5 Massa específica dos traços de concreto

Tabela 13: Massa especifica a/ag 0,55

Traço	Massa Específica (Kg/dm³)
TR	2,75
T1- 10 %	2,69
T2- 15 %	2,76
T3-20 %	2,74
T4- 25 %	2,67

Fonte: Próprio autor

Tabela 14: Massa especifica a/ag 0,47

Traço	Massa Específica (Kg/dm³)
TR	2,74
T1- 10 %	2,65
T2- 15 %	2,70
T3-20 %	2,74
T4- 25 %	2,67

Fonte: Próprio autor

Quanto a massa especifica dos concretos para ambas as relações a/ag, verifica-se que a massa especifica não possui variações significativas com as devidas substituições do cimento pela cinza de casca de arroz, as mesmas estão dentro de intervalos estabelecido pela literatura, entre 2000 Kg/m³ a 2800 Kg/m³.

3.4.6 Ensaio de resistência a compressão axial

A resistência a compressão dos concretos será verificada por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os ensaios para a determinação das resistências serão feitos no LEC da Unijuí, em prensa nas idades de 7, 28 e 91 dias a partir da moldagem, conforme a NBR 5739/2007, segundo a qual, a resistência à compressão deve ser calculada pela expressão abaixo.

Equação: $$fc = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde:

fc: resistência a compressão, em Megapascals (MPa);

F: força máxima alcançada, em Newtons (N);

D: diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros (mm).

Figura 7 Ensaio de resistência a compressão axial

Fonte: Autoria Própria

3.4.7 Ensaio de resistência a tração na compressão diametral

A resistência a tração dos concretos foi verificada por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os ensaios para a determinação das resistências foram feitos no LEC da Unijuí, em prensa na idade de 28 dias e 91 dias (Figura 14), a partir da moldagem, conforme a NBR 7222/2008. Com o corpo de prova devidamente ajustado foi aplicada uma carga com velocidade constante de aproximadamente 0,05 MPa/s até a sua ruptura

A resistência a tração na compressão diametral é calculada pela seguinte expressão:

Equação: $$ft, D = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times L}$$

Onde:

ft,D: é a resistência a tração por compressão diametral, expressa em MPa;

F: carga máxima obtida no ensaio, em kN;

d: diâmetro do corpo de prova, em mm;

L: altura do corpo de prova, em mm.

Figura 8:Ensaio de resistência a tração na compressão diametral

Fonte: Próprio autor

3.4.8 Ensaio de água quimicamente combinada (AQC)

Segundo MARSH & DAY (1988), o ensaio de água quimicamente combinada será realizado na idade de 28 dias após a moldagem dos corpos de prova. Após o rompimento dos CP, com auxílio de uma furadeira de bancada, retira-se aproximadamente 70 gramas (g) de pó de concreto de 1 CP por traço. Em seguida, este pó de concreto é peneirado na peneira nº 200, e o passante foi então misturado em proporções iguais com álcool isopropílico com auxílio de um agitador eletromagnético objetivando parar as reações de hidratação dos compostos de concreto. Após este processo o material será colocado em estufa por 24 horas a temperatura de aproximadamente 105 ºC. Depois de decorridas 24 horas a amostra é retirada da estufa, separando-se 20 gramas do material e deixando a mesma por 20 minutos na estufa, sendo pesada novamente e colocada por mais 20 minutos na estufa até atingir uma diferença de peso de 0,01 gramas da pesagem anterior, a qual foi denominada P105. Em seguida, a amostra éi colocada em uma mufla a temperatura de 550 ºC durante 1 hora, sendo então, retirado da mufla, pesada e levada ao dessecador a vácuo por 15 min. Após, a amostra será pesada e novamente levada ao dessecador até atingir uma diferença de peso de 0,01 gramas da pesagem anterior, o qual foi denominado P550. O teor de água quimicamente combinada éi determinado pela expressão abaixo:

Figura 9:Agitador eletromagnético utilizado no ensaio de AQC

Fonte: Próprio autor

Equação: $AC = \frac{P105 - P550}{P105}$

Onde:

AC: teor de água quimicamente combinada, em %;

P105: peso da amostra a temperatura de 105 ºC, em gramas (g);

P550: peso da amostra a temperatura de 550 ºC, em gramas (g).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os valores obtidos para a resistência a compressão axial aos sete dias, vinte e oito dias e noventa e um dias, para as relações a/ag de 0,47 e 0,55, estão ilustrados na Tabela 15 a seguir, nesta tabela estão dispostos todos os traços com adição de MCCA, T1, T2, T3 e T4, e o traço referência somente com utilização de cimento.

Tabela 15: Resistência a compressão axial em MPa

Traço	a/ag	Resistência (MPa)		
		7 dias	28 dias	91 dias
TR	0,47	50,68	63,43	69,5
	0,55	41,19	50,5	55,7
T1- 10 %	0,47	47,2	58,66	66,6
	0,55	37,58	46	52,4
T2- 15 %	0,47	41,16	50,55	57,2
	0,55	36,83	45,16	50,4
T3-20 %	0,47	37,17	49,57	55,8
	0,55	32,8	43,33	48,5
T4- 25 %	0,47	30,91	43,02	47,7
	0,55	27,17	36,32	40,7

Fonte: Autoria propria

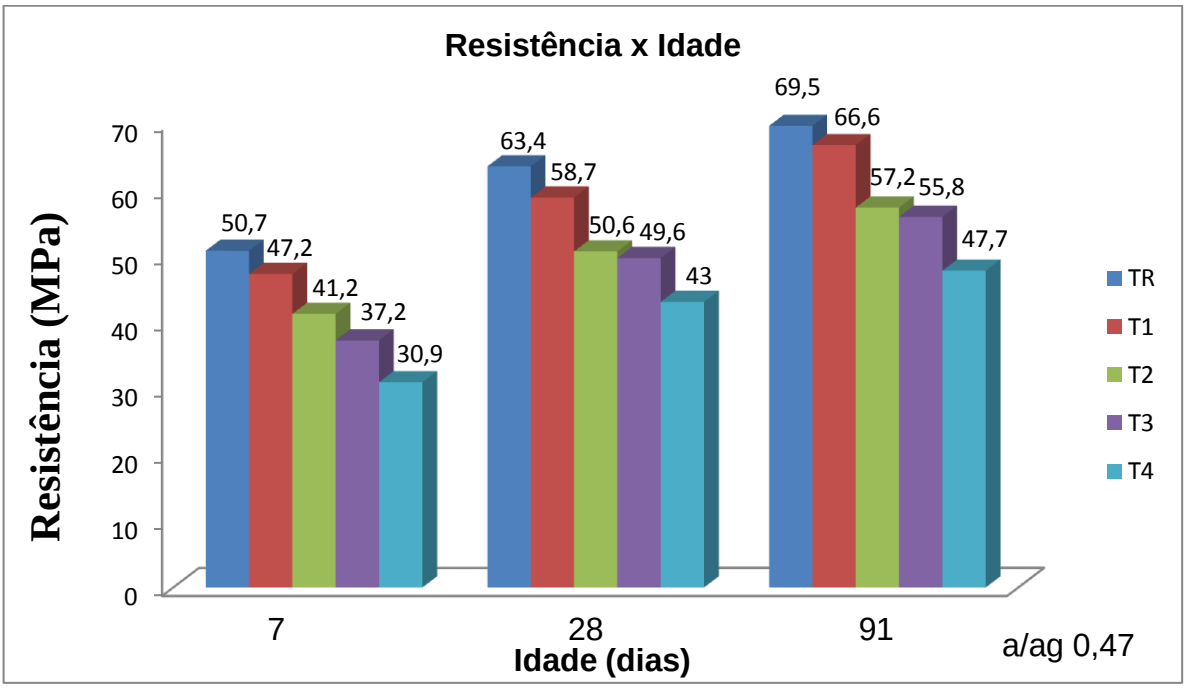
Apartir da tabela 15 e da figura 10 apresentada se observa, para ambas as relações a/ag, que o traço referência TR obteve resistência tanto para a idade de sete dias quanto para as idades de vinte e oito e noventa e um dias, valores de resistência maiores que os traços com substituição parcial de cimento, sendo que estes traços tiveram suas resistências diminuídas à medida em que a porcentagem de CCA foi aumentando, sendo assim então a resistência a compressão axial para estas três idades é inversamente proporcional a substituição do cimento por cinza de casca de arroz.

Como esperado, todas as misturas apresentam maior resistência à compressão axial para menores relações a/ag, fato que se deve ao aumento da compacidade, do grau de hidratação e refinamento dos poros nas misturas com MCCA, no caso dos traços com essas pozolanas.

A mistura, composta de MCCA apresentou para todas as relações a/ag resistências inferiores à mistura referência, mantendo uma tendência de diminuição destas resistências. Embora a mistura com maior substituição apresenta uma maior finura, o teor de substituição desempenha papel preponderante no desenvolvimento da resistência mecânica.

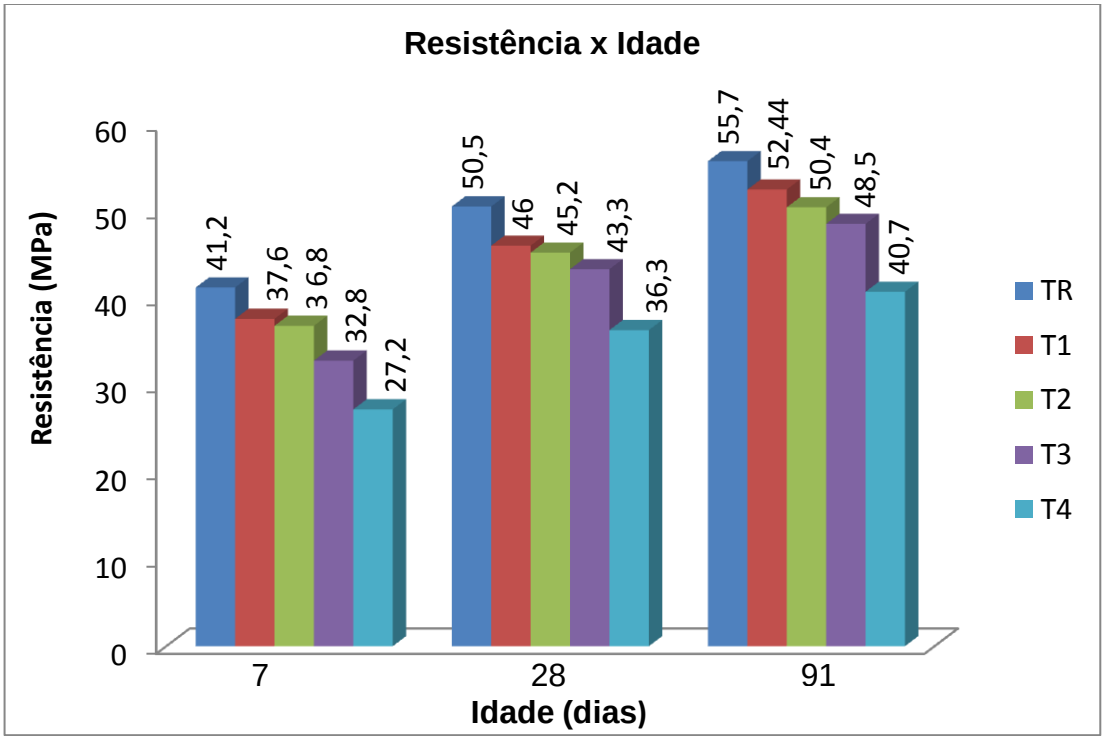
Observou-se também, que com o aumento do tempo de cura do concreto, as reações de hidratação dos componentes do cimento são maiores, resultando em resistências maiores, também nota-se que quanto maior for a porcentagem de substituição do cimento por cinza de casca de arroz, também aumentou-se a relação a/ag e também menor é a resistência do concreto, o que já se esperava, pois de acordo com a Lei de. Abrams, à medida que a relação a/ag aumenta, o valor da resistência tende a diminuir. O traço referência TR apresentou a relação a/ag de 0,55, menor que a relação a/ag dos traços T1, T2, T3 e T4, os quais apresentaram os respectivos valores de 0,57, 0,57, 0,58 e 0,59, comprovando que quanto maior a relação a/ag menor é a resistência do concreto. Para o traço referência TR da relação a/ag de 0,47, os traços T1, T2, T3 e T4, apresentaram os respectivos valores de 0,49, 0,49, 0,50 e 0,51, comprovando que quanto maior a relação a/ag menor é a resistência do concreto.

Figura 10: Gráfico da resistência x Idade a/ag 0,47



Fonte: Autoria propria

Figura 11: Gráfico da resistência x Idade a/ag 0,55

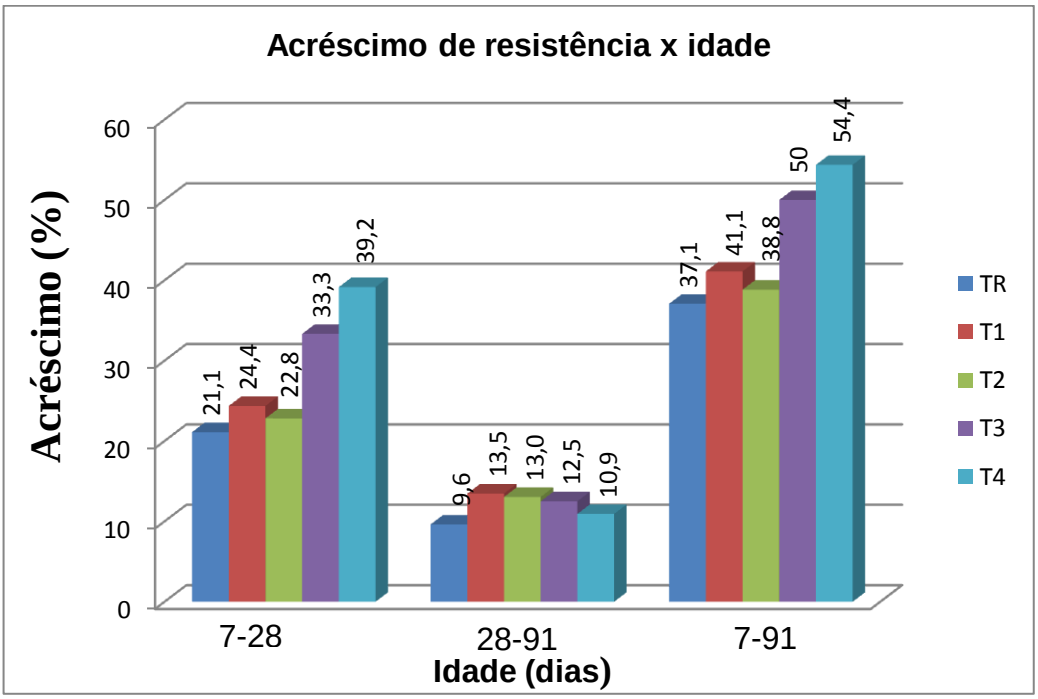


Fonte: Autoria própria

Evolução das resistências

Na Figura 12 são apresentados os aumentos da resistência em porcentagem (%), adquirido para cada traço de concreto em cada período para a relação a/ag 0,47.

Figura 12: Evolução da resistencia x idade a/ag 0,47



Fonte: Próprio autor

Analisando a Figura 12 pode-se concluir que os traços T1, T2, T3 e T4 da relação a/ag 0,47, os quais tiveram substituição parcial de cimento por MCCA, apresentaram acréscimo da resistência superior ao traço TR moldado somente com cimento, e que quanto maior o teor de substituição, maior foi o ganho de resistência. Isto se explica pelo fato destes traços terem além da hidratação do cimento, a reação pozolânica na presença de água, entre o CH e a sílica presente na MCCA, gerando mais produtos hidratados, como o C-S-H.

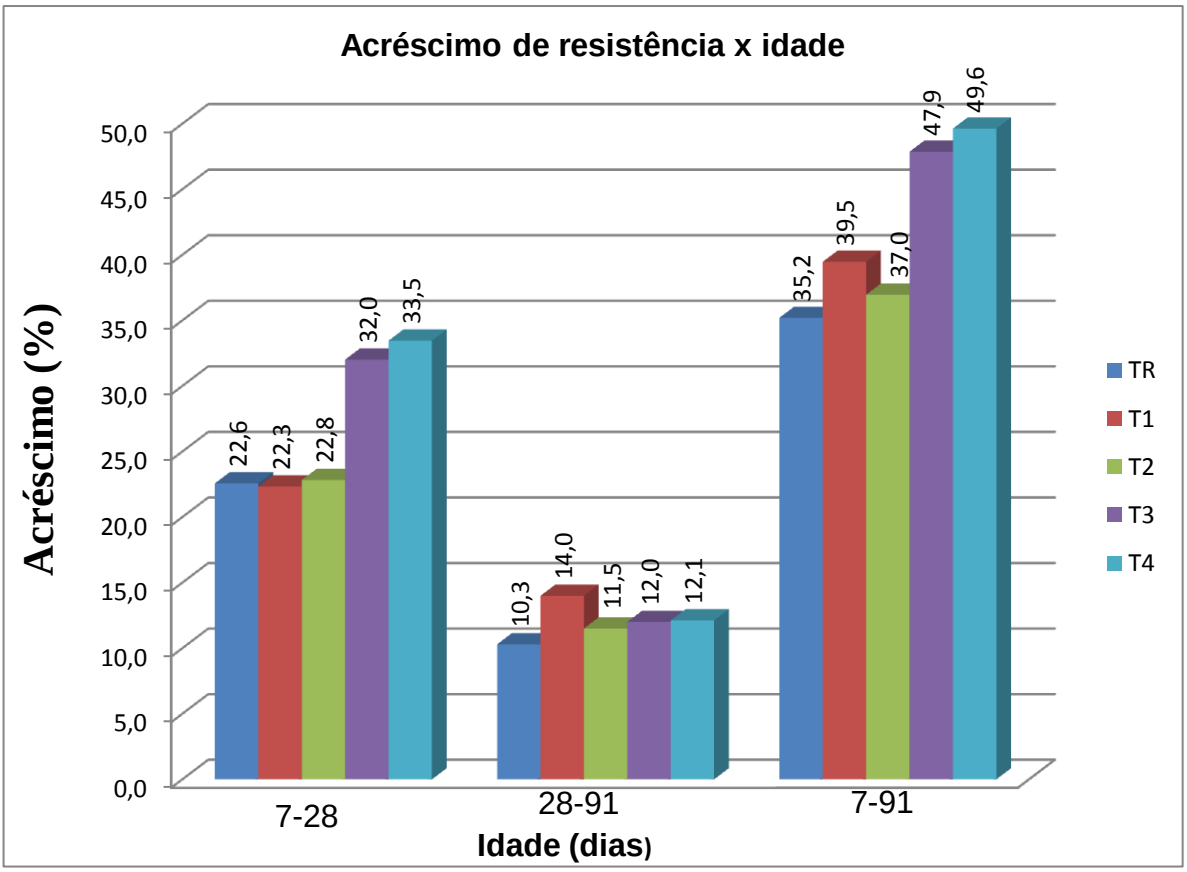
O traço T4 foi o que obteve o maior ganho de resistência entre as idades de 7 e 91 dias, chegando a ter um aumento de resistência de aproximadamente 54 %, pois é o traço com maior teor de adição de MCCA, o que contribuiu para as reações pozolânicas e o aumento mais acentuado da resistência em comparação aos demais traços.

O menor ganho de resistência foi no intervalo entre as idades de 28 e 91 dias, obtido pelo traço de referência TR, com uma taxa de aumento de 9,6 %. Este fato explica-se porque

este traço não apresenta reação pozolânica, pois foi moldado somente com cimento CPV-ARI, que obtém grande parte da sua resistência nas primeiras idades.

Na Figura 13 são apresentados os aumentos da resistência em porcentagem (%), adquirido para cada traço de concreto em cada período para a relação a/ag 0,55.

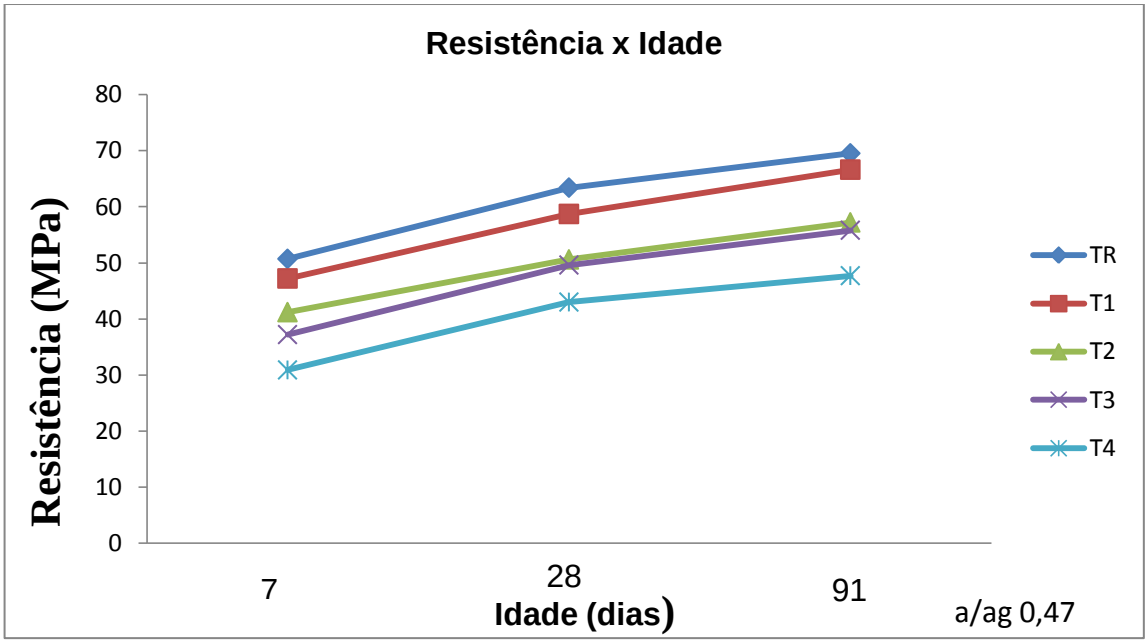
Figura 13: Evolução das resistências em relação a idade a/ag 0,55



Fonte: Próprio autor

Analisando a Figura 13, pode-se concluir que os traços T1, T2, T3 e T4 da relação a/ag 0,55, que também tiveram substituição parcial de cimento por MCCA, apresentaram aumento da resistência superior ao traço TR moldado somente com cimento, e que quanto maior o teor de substituição, maior foi o ganho de resistência. Também nota-se que o maior acréscimo de resistência se dá nas primeiras idades, para ambas as relações a/ag, isso se deve ao concreto obter sua maior resistência nas primeiras idades, pelo uso do cimento CP-V. Este comportamento dos traços para a relação a/ag 0,55 seguem a tendência dos traços de concreto da relação a/ag 0,47, portanto, observa-se um comportamento similar, o que já era esperado.

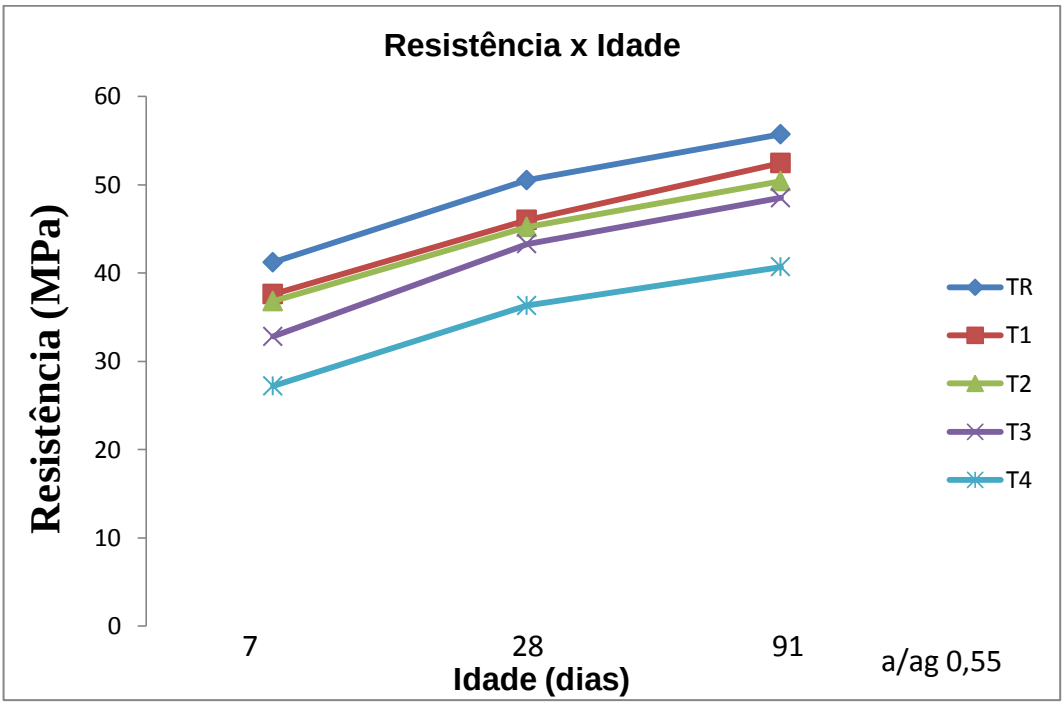
Figura 14: Avanço das resistências ao longo do tempo a/ag 0,47



Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico de linhas, observa-se que o traço T4, com maior porcentagem de adição de MCCA foi o que obteve a menor resistência aos 7 dias, mas alcançou o maior ganho de resistência no período dos 7 aos 91 dias.

Figura 15: Avanço das resistências ao longo do tempo a/ag 0,55



Fonte: Próprio autor

Verifica-se também que o traço que obteve menor ganho de resistência foi o traço referência sem substituição de cimento por cinza de casca de arroz, mostrando uma tendência de que os traços com substituição terem os maiores acréscimos de resistência, pois segundo Frizzo (2001), os concretos com adições minerais beneficiam-se das reações pozolânicas em longo prazo elevando as resistências.

RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os valores obtidos para a resistência a tração na compressão diametral aos 28 e 91dias estão ilustrados na Tabela 16 e na Figura .16

Tabela 16: Resistência a tração na compressão diâmetral em MPa

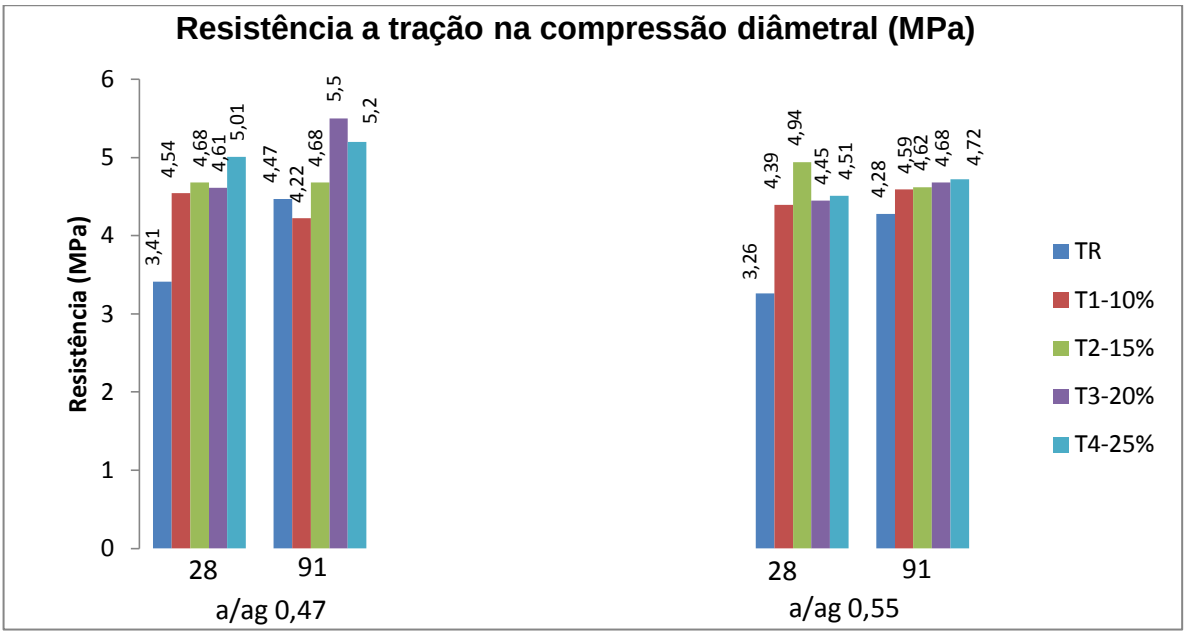
Traço	Resistência compressão diâmetral (MPa)		
	a/ag	28 dias	91 dias
TR	0,47	3,41	4,47
	0,55	3,26	4,28
T1- 10 %	0,47	4,54	4,22
	0,55	4,39	4,59
T2- 15 %	0,47	4,68	4,68
	0,55	4,94	4,62
T3-20 %	0,47	4,61	5,5
	0,55	4,45	4,68
T4- 25 %	0,47	5,01	5,2
	0,55	4,51	4,72

Fonte: Próprio autor

Analisando a Tabela 16 e a Figura 14, observa-se que todos os traços com adição de MCCA, T1, T2, T3 e T4, apresentaram resistências superiores ao traço referência TR, moldados somente com cimento. Para a relação a/ag 0,47, o traço T3 obteve resistência de 5,5 MPa, aos 91 dias e o traços T1 apresentou o menor valor de resistência entre os traços com

adição de MCCA, com valor respectivo de 4,22 MPa. Para a relação a/ag 0,55, o traço T2 apresentou resistência superior aos demais traços sendo de 4,94 MPa aos 28 dias. Assim como na resistência a compressão, a resistência à tração deveria crescer com o passar do tempo em função da ocorrência das reações químicas de hidratação e das reações pozolânicas (GABRICH, 2008).

Figura 16: Resistência a tração na compressão diametral



Fonte: Autoria Própria

Os resultados mostram um melhor desempenho dos traços com MCCA, quando comparados aos de referência. Neste estudo com utilização de MCCA nas misturas ocorreu um ligeiro aumento na resistência à tração diametral, que pode ser justificado pela redução da porosidade da matriz e da zona de transição do concreto. Cabe destacar que estes valores se explicam pelo efeito significativo da incorporação da sílica no aumento da resistência a tração por compressão diametral, conforme constatado por DAL MOLIN (1995).

ÁGUA QUIMICAMENTE COMBINADA (AQC).

De acordo com a Tabela 17, observa-se que em todas as misturas a porcentagem de água quimicamente combinada foi progressiva com o aumento da relação a/ag. Isto pode ser explicado pelo fato de que em relações a/ag mais elevadas o espaço livre entre as partículas é maior, sendo que para a mesma quantidade de água existe menos aglomerante, acarretando desta forma uma maior porosidade.

Tabela 17: Resultados da água quimicamente combinada (AQC)

Traço	a/ag	Água Quimicamente Combinada (%)
TR	0,47	2,38
	0,55	2,76
T1- 10 %	0,47	2,89
	0,55	3,06
T2- 15 %	0,47	2,97
	0,55	3,19
T3-20 %	0,47	3,09
	0,55	3,07
T4- 25 %	0,47	3,16
	0,55	3,53

Fonte: Autoria Própria

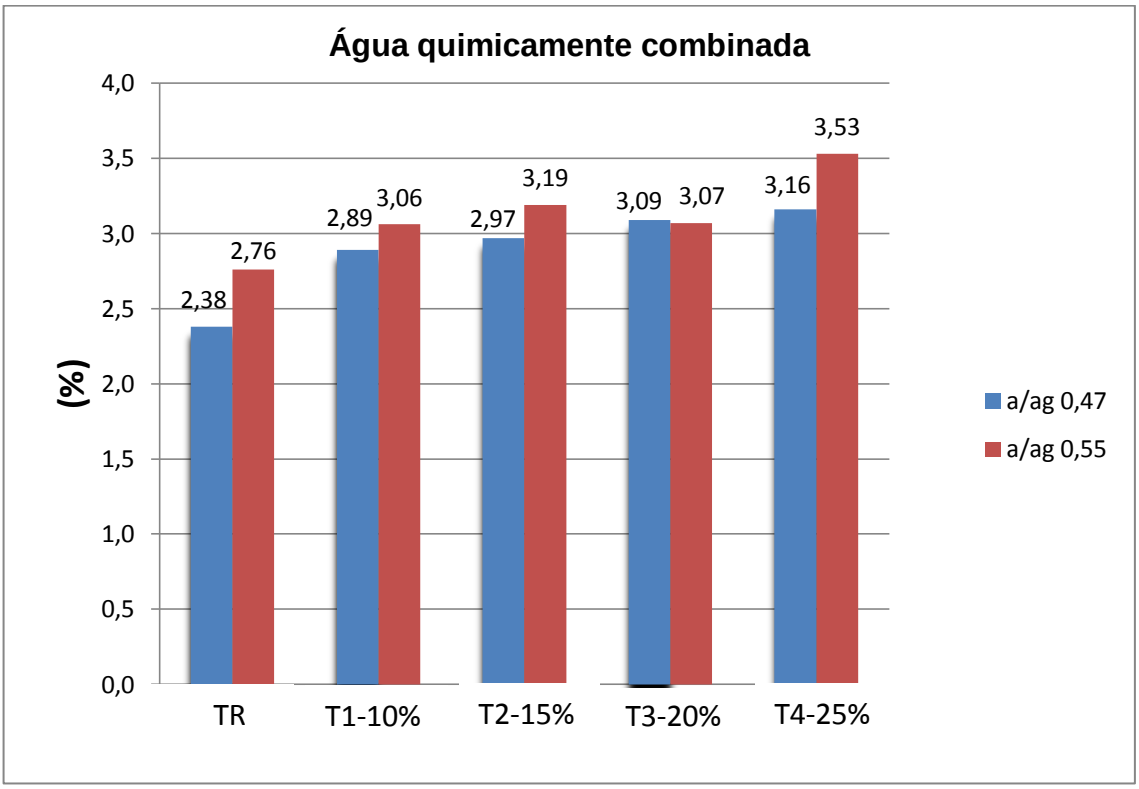
De acordo com Isaia *et. al* (2003), com isso, existe mais espaço para a formação dos compostos hidratados que são maiores. Para os traços com relações a/ag menores, o teor de água quimicamente combinada é menor, ou seja, como os espaços livres são menores, os produtos hidratados se formam em tamanhos menores, mais compactos, ocasionando um menor teor de água quimicamente combinada.

Os traços com adição MCCA tem valores maiores que o traço referência, sem adição, o que pode ser explicado pelo fato destes traços terem além da hidratação do cimento, mais uma reação química na presença de água, a reação pozolanica entre o CH e a sílica presente na CCA, gerando mais produtos hidratados como C-S-H Duart (2008).

A Figura 17 apresenta os valores maiores de água combinada para os traços com adição de MCCA podem ser explicados tamb.ém pela adsorção de cristais CH nas paredes internas das partículas e formando mais C-S-H , sendo maior quanto for a porcentagem de substituição com MCCA.

Para a relação a/ag 0,55, os traços são mais porosos quando comparados com a relação a/ag 0,47, e os produtos hidratados são de maiores dimensões ou em aglomerados maiores resultando num maior valor de água quimicamente combinada.

Figura 17: Resultados do ensaio de água quimicamente combinada



Fonte: Autoria Própria

Também pode estar relacionado com o efeito de nucleação, ou seja, liberação de água realizada pelas partículas pozolânicas o que ocasiona defloculação dos grãos de cimento e melhor aproveitamento deste nas reações de hidratação, além das próprias reações pozolânicas que produzem C-S-H secundário. De acordo com Isaia *et. al* (2003), quanto maior a defloculação maior a superfície específica do cimento em contato com a água, sendo reforçada pelo potencial eletro-cinético entre as partículas. Estes mecanismos proporcionam maior quantidade de pontos de nucleação para iniciar as reações de hidratação, sendo o resultado final uma maior quantidade de produtos hidratados e, um maior consumo de hidróxido de cálcio, devido à maior atividade pozolânica e, finalmente, o ganho de força unitária (por unidade de massa de Portland cimento na mistura) ou o aumento de outras variáveis relacionadas com a durabilidade. A ação física aumenta a reatividade química, e o desempenho global do concreto também aumenta.

CONCLUSÃO

Portanto, o presente trabalhou objetivou avaliar o desempenho de traços de concreto com substituição parcial de cimento por cinza de casca de arroz nos teores de 10%, 15%, 20% e 25 %. Foram estudadas as propriedades mecânicas, através do ensaio de resistência axial a compressão, tração na compressão diametral, espalhamento, fluidez com caixa L e água quimicamente combinada.

Com relação a compressão axial, para todas as idades e relação a/ag os traços com substituição de cimento por MCCA apresentaram resistência menor que os traços referência moldados com cimento e que quanto maior o teor de substituição de cimento por MCCA, menor foi o valor da resistência nesta idade.

Também, um maior tempo de cura, os traços com adição de MCCA obtiveram um ganho maior de resistência devido ao efeito físico e pozolânico, mas não ultrapassaram a resistência do concreto de referência.

Nota-se que nas primeiras idades o processo de hidratação do cimento promove ganhos de resistência mais rápido. Porém quando foi analisado o período dos 28 dias aos 91 dias, verificou-se que os traços com substituição de cimento por MCCA tiveram um acréscimo de resistência de maior que à mistura referência moldado com cimento.

Para os resultados da resistência a tração na compressão diametral, percebe-se uma tendência de que com o aumento da substituição de cimento por MCCA os valores da resistência tendem a aumentar, isto devido a redução da porosidade da matriz e da zona de transição do concreto. Cabe destacar que estes valores se explicam pelo efeito significativo da incorporação da sílica no aumento da resistência a tração por compressão diametral.

Quanto aos resultados da água quimicamente combinada, nota-se que a MCCA promoveu uma aumento no teor de água quimicamente combinada, fato este devido as reações de hidratação do cimento nas primeiras idades e as reações pozolânicas da cinza em idades mais avançadas. Assim, quanto maior for o teor de água quimicamente combinada, maior será a hidratação dos compostos cimentícios.

Desta forma, a utilização da MCCA em concretos possibilita o acréscimo de resistência maior que em concretos somente com cimento, além de contribuir com o meio ambiente, diminuindo o consumo de cimento, sendo uma alternativa viável e muito eficiente para a diminuição do impacto ambiental. Dessa maneira, conclui-se que a substituição parcial de cimento por microssílica de cinza de casca de arroz é viável. A literatura demonstra que existe um teor ideal entre 15% e 25%.

Sugestões para trabalhos futuros

Avaliar as relações de segregação do concreto autoadensável com adição de microssílica da cinza de casca de arroz utilizando o tubo U.

Utilizar outras relações a/ag e outros teores de substituição.

Avaliar as propriedades de microestruturas do concreto através do ensaio de microscopia de varedura eletrônica com diafractograma

REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Perfil do cimento**, 2008. Disponível em: <www.mme.gov.br/>. Acesso em: 19 março. 2014.

AGUIAR, José Eduardo. Durabilidade e patologia das estruturas de concreto. Curso IBAPE, 2012.

AÏTCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000.

ALVES, R. A. R. **Contribuição ao estudo de aditivos superfluidificantes utilizados em concreto fluido.** 1994. 176p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993

ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto**. São Paulo: Pini,1984. 738p.

ARAÚJO, J. L. **Considerações sobre concreto auto-adensável e uma aplicação com materiais locais.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade de Pernambuco, Pernambuco.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Procedimento e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT**). NBR 15823**: Concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010. 29p.

AZEVEDO, Minos Trocoli de. Concreto: Ciência e Tecnologia. (Cap. 31- Patologiadas Estruturas de Concreto). São Paulo: IBRACON - Apis Gráfica e Editora, 2008.

BARROS, A.R. **Avaliação do Comportamento de Vigas de Concreto Auto-Adensável Reforçado com Fibras de Aço**. Dissertação de mestrado, Maceió, 2009.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. (1999). **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto.** Cadernos de Engenharia de Estruturas. n.8. EESC. Universidade de São Paulo.São Carlos.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** ISAIA, G.C. Ed. São Paulo; IBRACON, 2008. Pag. 345-379.

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

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self-compacting concrete. In: **EFNARC,** fevereiro, 2002.

FAGURY, S. C., LIBÓRIO J. B. L. **Concretos e pastas de elevado desempenho: contribuição aos estudos de reparos estruturais e ligações entre concretos novo e velho,**

com tratamento da zona de interface, CD-ROM dos Anais do 44º IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2004

GEYER, A. L. B. Utilização de concreto auto-adensável em estruturas de edifícios com custos inferiores ao concreto convencional. **In: 12° Concurso Falcão Bauer**, 2002.

GIAMMUSSO, S. Manual do Concreto. São Paulo. PINI, 1992.

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R.. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009, pg. 165.

HELENE, Paulo, (2001). **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos

MEHTA, Providar Kumar.; MONTEIRO, Paulo . **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, Providar Kumar.; MONTEIRO, Paulo. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 1.ed. São Paulo: PINI, 2008, pg.674.

MEIRA, L. R.; **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem.** 2009. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2007.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. **A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes.** Cement and Concrete Research, Elmsford, v.38, n 1, p. 861-869, 2008.

NEVILLE, Adam Matthew. Propriedades do concreto. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

OKAMURA, H. Self-compacting high-performance concrete**. International Concrete**, v. 19, n. 7, p. 50-54,1997.

PEDROZO, Eder Claro **Estudo da utilização de cinza da casca do arroz residual em concretos estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos.** 2008. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado em Eng. Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS, 2006.

PRUDÊNCIO, L. R. J.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. In: HABITARE (Coletânea, v. 4), Porto Alegre, 2003, Ilustrado ISBN 85-89478-05-X.

REPETTE, Wellington Longuini. Concreto de última geração: presente e futuro**.** In: ISAIA G. C., editor. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. São Paulo: Ed. Ibracon, 2005. v. 2,

pp. 1509-1550.

ROY, D. M.; IDORN, G. M. **Concrete Microstructure**, Strategic Highway Research Program C-340, National Research Council, EUA, 1993.

SACILOTO, A. P. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura.** Dissertacao de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2005.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 199.

SILVA, E. J. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil.** Dissertacao de mestrado. Faculdade de Engenharia – UNESP. Ilha Solteira – SP, 2009.

SOKOLOVICZ, Bóris Casanova **Microestrutura e durabilidade a cloretos de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz com e sem moagem prévia.** 2013. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2013.

TASHIMA, M. M.; SILVA, C. A. R. L.; AKASAKI, J. L. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada.** XXXI Jornada Sud-americanas de Ingenieria Estructural, Mendonza, Argentina, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; Helene, Paulo. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e tecnologia.** 1ª Ed. São Paulo: IBRACON 2011. capítulo 36, p. 1283-1325.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto Auto-adensável**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2008, pg.140.

VASCONCELOS, Antonio Rogério Brizante de; AKASAKI, Jorge Luís. **Análise da durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de cinza de casca de arroz e borracha de pneu**. 2010. p. 77-90. Porto Alegre. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/8639/7494>. Acesso em: 16 março.2014.