UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

JONAS FELIPE FÜHR

ESTUDO DA ADIÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Ijuí/RS

2013

JONAS FELIPE FÜHR

ESTUDO DA ADIÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Boris Casanova Sokolovicz

Ijuí/RS

2013

JONAS FELIPE FÜHR

ESTUDO DA ADIÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL

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

Banca examinadora

_____

Prof. Boris Casanova Sokolovicz, Msc. - Orientador

_____

Prof. Eder Claro Pedrozo, Msc.

Ijuí, 26 de NOVEMBRO de 2013

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais Nei César Führ e Sidonia Marisa Führ, ao meu irmão Tiago Alexandre Führ e a minha avó Erica Knebel, pelo amor e apoio que me ofereceram, dedico-lhes esta conquista.

AGRADECIMENTOS

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

Agradeço aos meus pais Nei e Sidonia que me orientaram e apoiaram nestes quase 6 anos de graduação, mostrando-me o caminho correto da vida, do trabalho, da honestidade e do respeito e amor ao próximo.

Agradeço ao meu irmão Tiago e a minha avó Erica que muito me incentivaram e apoiaram em todas as horas.

Obrigado também ao meu grande colega e amigo Jeovani Rodrigues Jacques pela ajuda na realização de todos os ensaios e pela amizade de todos estes anos de graduação.

Agradeço a todos os colegas do curso de Engenharia Civil, aos laboratoristas Luiz e Túlio, pelo companheirismo e disposição em me ajudar durante esta pesquisa.

Agradeço também ao professor Boris Casanova Sokolovicz pela orientação e amizade ao longo da pesquisa, auxiliando-me em todos os momentos.

RESUMO

A adição de resíduos agroindustriais como materiais pozolânicos em concretos vem sendo bastante estudada nos últimos anos por vários pesquisadores que buscam características como a redução do consumo de cimento, para reduzir custos, aumentar a resistência mecânica e durabilidade e aproveitar os resíduos industriais para diminuir a poluição ambiental. A adição de cinza de casca de arroz (CCA) ao concreto seria muito significativa no Brasil, pois o país está entre os 10 maiores produtores de arroz do mundo (PEDROZO, 2008). A adição de cinza de casca de arroz ao concreto, além de diminuir os custos de produção do concreto, reduz os impactos ao meio ambiente e melhora algumas das suas propriedades físicas e mecânicas. Através de dosagem experimental foi analisada a viabilidade técnica da substituição de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) com teores de 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5%, avaliando suas propriedades de resistência a compressão axial, resistência a tração na compressão diametral e água quimicamente combinada. Com os resultados obtidos, verificou-se que para a idade de 7 dias os traços com adição de MCCA apresentaram menor resistência que o traço referência moldado somente com cimento. Contudo, com um tempo de cura maior, aos 28 e 56 dias de idade, destacou-se o avanço das 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 56 dias em relação ao traço referência moldado somente com cimento. Os resultados demonstraram que é viável para os teores estudados a substituição de cimento por MCCA, e que contribui para o aumento da sua resistência, além de contribuir para a diminuição do consumo de cimento e preservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: concreto, consumo, resistência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação do concreto autoadensável 15
Figura 2: Depósito de casca de arroz a céu aberto 20
Figura 3: Resistência do concreto com adição de CCA 25
Figura 4: Microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) 30
Figura 5: Agregado miúdo utilizado 31
Figura 6: Granulometria do agregado miúdo 32
Figura 7: Agregado graúdo utilizado 32
Figura 8: Granulometria do agregado graúdo 33
Figura 9: Aditivo utilizado 34
Figura 10: Parte vertical da caixa L preenchida com concreto 37
Figura 11: Escoamento e nivelamento total do concreto 37
Figura 12: Slump flow test executado 39
Figura 13: Ensaio de resistência a compressão axial 41
Figura 14: Ensaio de resistência a tração na compressão diametral 42
Figura 15: Detalhe da ruptura do corpo de prova a tração na compressão diametral 42
Figura 16: Agitador eletromagnético utilizado no ensaio de AQC 44
Figura 17: Mufla a temperatura de 550 ºC 44
Figura 18: Evolução das resistências em relação à idade 47
Figura 19: Avanço das resistências ao longo do tempo 48
Figura 20: Resistência a tração na compressão diametral aos 28 dias 49
Figura 21: Acréscimo de AQC em relação à idade 51
Figura 22: Avanço da água quimicamente combinada (AQC) em relação à idade 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das adições minerais 18
Tabela 2: Porcentagem da produção por parte da planta de cinza e sílica 20
Tabela 3: Características químicas do cimento CPV-ARI 29
Tabela 4: Características físicas do cimento CPV-ARI 29
Tabela 5: Propriedades da microssílica da cinza de casca de arroz 30
Tabela 6: Características do agregado miúdo 31
Tabela 7: Características do agregado graúdo 33
Tabela 8: Propriedades do aditivo GLENIUM 51 superplastificante 34
Tabela 9: Resultados do parâmetro H2/H1 35
Tabela 10: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test 38
Tabela11: Consumo de materiais para cada traço 40
Tabela 12: Resistência a compressão axial aos 7 dias 45
Tabela 13: Resistência a compressão axial aos 28 dias 46
Tabela 14: Resistência a compressão axial aos 56 dias 46
Tabela 15: Resultados da resistência a compressão axial 47
Tabela 16: Resistências a tração na compressão diametral 49
Tabela 17: Resultados da água quimicamente combinada (AQC) 51

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

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
C_3S - Silicato tricálcio
CV – Cinza volante
g/cm³ - Grama por centímetro cúbico
g - Grama
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg/dm³ - Quilograma por decímetro cúbico
Kg/m³ - 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
SA – Sílica ativa
ZT – Zona de transição

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 12
1 REVISÃO DA LITERATURA 14
1.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA) 14
1.1.1 **Vantagens** 16
1.2 ADIÇÕES MINERAIS 16
1.2.1 **Cinza de casca de arroz (CCA)** 19
1.2.1.1 **Características da CCA** 21
1.3 MICROESTRUTURA DO CONCRETO 22
1.3.1 **Influência da adição de CCA na microestrutura do concreto** 22
1.4 RESISTÊNCIA DO CONCRETO 23
1.4.1 **Influência da adição de CCA na resistência do concreto** 24
2 METODOLOGIA 27
2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 27
2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA 27
2.2.1 **Procedimento de coleta e interpretação dos dados** 27
2.3 MATERIAIS UTILIZADOS 28
2.3.1 **Aglomerantes** 28
2.3.1.1 **Cimento** 28
2.3.1.2 **Microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)** 29
2.3.2 **Agregados** 30
2.3.2.1 **Agregado miúdo** 30
2.3.2.2 **Agregado graúdo** 32
2.3.3 **Aditivo** 33
2.3.4 **Água** 34
2.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS 35
2.4.1 **Dosagem dos traços** 35
2.4.2 **Ensaio com a Caixa L** 36
2.4.3 **Slump Flow Test** 39
2.4.4 **Ensaio de resistência a compressão axial** 41
2.4.5 **Ensaio de resistência a tração na compressão diametral** 42
2.4.6 **Ensaio de água quimicamente combinada (AQC)** 43
3 RESULTADOS 45
3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL 45
3.1.1 **Evolução das resistências** 46
3.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL 49
3.3 ÁGUA QUIMICAMENTE COMBINADA 50
CONCLUSÃO 54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

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. Segundo Neville (1997), 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. Conforme Mehta (1994 apud SOKOLOVICZ, 2013, p. 24), 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 (DUART, 2008).

Com o objetivo de diminuir o impacto ambiental gerado na fabricação do cimento, a partir da segunda metade do século XX, parte do cimento tem sido substituído por uma ou mais adições minerais. As vantagens desta substituição são muito significativas a nível técnico, econômico e, principalmente ambiental, pois acarreta a redução de emissão de CO_2, do consumo de energia e, em alguns casos, de custo. Essas reduções são proporcionais à quantidade de adição mineral utilizada na mistura em substituição ao cimento (SOKOLOVICZ, 2013).

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 (DUART, 2008).

Devido ao elevado teor de sílica (superior a 92%) presente na sua composição química, a cinza de casca de arroz se encontra em várias aplicações na construção civil como pozolana agregada em cimentos, concretos e argamassas, melhorando suas propriedades mecânicas, de durabilidade e contribuindo com o meio ambiente (POUEY, 2006).

Tendo em vista que o Brasil é o nono produtor mundial de arroz, e o Rio Grande do Sul produz aproximadamente 63% da produção nacional (SOKOLOVICZ, 2013), o presente trabalho visa estudar a viabilidade técnica da utilização da CCA em concreto autoadensável. Este tema foi proposto devido à importância da utilização de novos materiais aplicados na construção civil, com o objetivo de reduzir custos, preservar o meio ambiente e acrescentar características positivas ao concreto autoadensável (CAA).

A questão de estudo a ser respondida através da realização 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 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5%, relacionando os resultados obtidos com um traço de referência moldado somente com cimento, nas idades de 7, 28 e 56 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 e microestrutura do concreto.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

No ano de 1988, no Japão, foi desenvolvido um concreto de alto desempenho com uma excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência a segregação. Este concreto, que possui a capacidade de se moldar as formas sem vibração ou compactação, passando coeso através das armaduras foi denominado de concreto autoadensável (CAA) (OKAMURA, 1997 apud TUTIKIAN et al., 2004).

O termo concreto autoadensável (CAA) identifica uma categoria de material cimentício que pode ser moldado nas fôrmas e preencher cada espaço, somente com o seu peso próprio, sem necessidade de qualquer forma de compactação ou vibração externa (ARAÚJO et al., 2003).

Um concreto só será considerado autoadensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre as barras de aço e a resistência a segregação (EFNARC, 2002 apud TUTIKIAN et al., 2004).

Estas propriedades do concreto fresco, por serem fundamentais para sua aplicação na obra, são analisadas com muito mais freqüência do que suas propriedades no estado endurecido, que garante o atendimento do CAA as solicitações estabelecidas no projeto. Isso tem gerado insegurança na sua utilização, aumentada pela falta de normalização de procedimentos de ensaios e de confiabilidade nos métodos de dosagem existentes para este tipo de material, o que faz com que surjam novas pesquisas direcionadas para o estudo das propriedades mecânicas e procedimentos de ensaios (CAVALCANTI, 2006).

O surgimento do CAA só foi possível devido a pesquisas aplicadas e a incorporação de adições minerais, adições de fillers e aditivos químicos ao concreto tradicional.

Segundo Marangon (2006), o CAA é muito suscetível em suas propriedades no estado fresco, e algumas características dos materiais constituintes como o tamanho, textura e distribuição granulométrica dos agregados, são importantes para a garantia da fluidez desejada da mistura.

Todos os tipos de cimento empregados na produção de concretos convencionais podem ser utilizados na produção de CAA. Variações no tipo de cimento, mesmo sendo

do mesmo fabricante, afetam diretamente as propriedades do concreto autoadensável. Com cimentos mais finos, tem-se uma maior superfície específica, o que proporciona menor tensão de escoamento e maior viscosidade da mistura, decorrente do aumento da quantidade de partículas em contato com a água, diminuindo a distância entre os grãos e aumentando a freqüência de colisão entre os mesmos (MARANGON, 2006).

Os agregados graúdos de forma regular, de qualquer natureza, são os mais indicados na produção de concreto autoadensável. O CAA pode ser produzido com agregados graúdos com dimensões de até 20 mm e, quanto maior a dimensão do agregado utilizado, maior deverá ser a viscosidade da pasta para evitar a segregação (NUNES apud MARANGON, 2006).

Segundo Tutikian (2004) a utilização do CAA é ampla, o qual pode ser moldado no local como na indústria de pré-moldados, dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto, e posteriormente transportado por caminhão betoneira para as obras. O CAA pode ser lançado com gruas, bombas de concreto, ou simplesmente espalhado (Figura 1).

Figura 1: Aplicação do concreto autoadensável

Fonte: ABESC, 2011

1.1.1 Vantagens

O concreto autoadensável (CAA) é apresentado como uma grande revolução ocorrida na tecnologia do concreto para a construção nos últimos anos, o qual possibilita inúmeros ganhos em relação ao concreto tradicional, entre os quais (EFNARC, 2002 apud TUTIKIAN et al., 2004).

• diminui o tempo da construção;
• redução de mão-de-obra;
• melhora o acabamento final da superfície;
• por ser mais fácil de adensar e pode aumentar a durabilidade;
• permite a concretagem em peças de seções menores;
• por não necessitar ser vibrado, elimina o barulho da vibração;
• melhores condições de segurança;
• pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Devido a sua grande resistência a segregação, aliada à fluidez, o CAA permite a eliminação de macro defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem, responsáveis diretos por perdas de desempenho mecânico do concreto e durabilidade da estrutura (TUTIKIAN et al., 2004).

Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Concretagem (ABESC, 2011), o CAA é um concreto muito plástico, pois proporciona grande fluidez e alta trabalhabilidade. A formulação desses concretos é fruto de pesquisas aplicadas ao uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, combinados com elevado teor de finos, sejam eles cimento Portland, fíllers, adições minerais, entre outros.

1.2 ADIÇÕES MINERAIS

A adição mineral caracteriza-se por ser um material inorgânico de finura menor ou igual a do cimento, o qual pode ser acrescentado ao concreto para melhorar algumas de suas propriedades ou lhe proporcionar características especiais, geralmente em relação à resistência mecânica ou durabilidade do concreto (DUART, 2008). Entre as adições mais usadas estão à escória de alto forno, a cinza volante, a cinza de casca de arroz moída, a sílica ativa e o metacaulim (LÜBECK, 2008).

Segundo Silva (2006) as adições minerais são todos os materiais finamente moídos e incorporados ao concreto, sendo que os principais benefícios possíveis de serem obtidos são a trabalhabilidade e durabilidade em relação aos agentes agressivos.

Conforme Neville (1997) quando corretamente proporcionadas na mistura, a presença de adições minerais é capaz de diminuir significativamente a penetrabilidade e aumentar a resistividade elétrica do concreto, reduzindo sua velocidade de corrosão.

A utilização de adições minerais no concreto através de sua ação físico-química modifica a microestrutura da pasta, refinando e melhor distribuindo a rede de poros e a concentração e mobilidade dos íons da solução dos poros, diminuindo a condutividade elétrica específica da mesma, ou seja, aumentando sua resistividade elétrica (HOPPE, 2005).

Os motivos pelos quais esses materiais são adicionados ao concreto são vários e contemplam diversos aspectos. Sob a perspectiva financeira, a utilização de adições minerais apresenta vantagem, pois substitui parte do cimento utilizado na produção do concreto, o que proporciona diminuição no custo do material final, uma vez que o cimento é o material com o custo mais elevado utilizado na produção do concreto (KLEIN, 2008).

Segundo descrito por Duart (2008) as adições podem ser divididas em três grupos:

• Inertes: são adições que não apresentam reação química considerável quando adicionada ao concreto, agem principalmente pelo processo físico auxiliando na nucleação dos produtos de hidratação do cimento, um exemplo é o fíller calcário.

• Hidráulicas: são adições que reagem na presença da água e produzem características cimentantes, é o caso da Escória de Alto Forno (E).

• Pozolanas: reagem na presença da água com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) que serve como ativador na reação chamada Pozolânica, é o caso da cinza volante (CV), sílica ativa (SA) e a cinza de casca de arroz (CCA).

Conforme descrito por Duart (2008), a utilização de adições minerais no concreto apresenta inúmeras vantagens, dentre as quais a redução de custos em virtude da substituição do cimento por materiais de baixo custo, como a CCA e a CV. Possibilita também o aumento da durabilidade em razão da diminuição da porosidade e refinamento dos poros, gerando concretos mais compactos e resistentes aos agentes agressivos como cloretos e sulfatos.

Para Mehta & Monteiro (1994) a utilização de adições minerais ao concreto proporciona melhorias em suas propriedades, entre as quais, melhora da resistência a fissuração térmica devido ao baixo teor de hidratação, aumento das resistências e da impermeabilidade por causa do refinamento dos poros e uma maior durabilidade aos ataques químicos.

Há um aumento na resistência à compressão, pois algumas adições como a SA e a CCA proporcionam já nas primeiras idades concretos com resistências mais altas que aqueles sem adição, devido a sua alta reatividade e também pela superfície específica, já a CV proporciona ganhos de resistência em idades mais avançadas à medida que as reações pozolânicas tornam-se mais intensas.

"A utilização da CCA se fundamenta em dois fatores principais: o reaproveitamento de rejeito industrial e a diminuição de custo, uma vez que por serem rejeitos industriais tem custo baixo, normalmente apenas o transporte" (DUART, 2008, p.23). Na Tabela 1 constam os tipos de adições minerais e sua respectiva classificação.

Tabela 1: Classificação das adições minerais

Classificação	**Tipos de Adições**
Cimentantes	Escória granulada de alto forno
Cimentantes e Pozolânicas	Cinzas volantes com alto teor de cálcio
Superpozolanas	Sílica ativa Metacaulim Cinza de casca de arroz
Pozolanas comuns	Cinzas volantes com baixo teor de cálcio Argilas calcinadas Materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar)
Pozolanas pouco reativas	Escória de alto forno resfriada lentamente Cinzas de forno Escória de caldeira Palha de arroz queimada em campo
Adições inertes (fíller)	Pó de cálcio, pó de pedra

Fonte: Mehta & Monteiro, 2008

1.2.1 Cinza de casca de arroz (CCA)

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), a estimativa de produção de arroz em 2013 é de 11.900.575 toneladas, correspondendo a um crescimento de 4,6% em relação à safra de 2012. A região sul deve produzir 9.301.486 toneladas em 2013, o que representa mais de 78% da produção nacional de arroz, uma expansão de 3,9% em relação a 2012. Neste contexto, o Rio Grande do Sul situa-se como o maior produtor nacional de arroz, com estimativa de incrementar em 258.963 toneladas, ou 3,3% a mais.

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).

> É prática comum nas indústrias de arroz a utilização da casca do 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 (DUART, 2008, p. 29).

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.

> Uma característica importante que a CCA deve ter é o índice de atividade pozolânica, que depende da finura da cinza e do teor de Sílica amorfa, e este último é determinado pelo processo de queima da casca de arroz, considerando principalmente os parâmetros de temperatura e tempo de queima (DUART, 2008, p. 32).

Prudêncio (2003 apud DUART, 2008, p. 30) considera inaceitável o não reaproveitamento da cinza de casca de arroz, a qual é disponibilizada em grande quantidade pela indústria de arroz em vários estados do Brasil, mas em inúmeros casos a CCA é dispensada no meio ambiente, gerando graves danos ao mesmo (Figura 2).

Figura 2: Depósito de casca de arroz a céu aberto

Fonte: IBAMA, 2012

Na Tabela 2 verifica-se a produção de cinza por partes das plantas e observa-se que a casca de arroz gera uma porcentagem maior de cinza e de sílica, demonstrando sua vantagem quando comparada com outros resíduos agrícolas como trigo, milho, girassol e cana de açúcar.

Tabela 2: Porcentagem da produção por parte da planta de cinza e sílica

Cereal	Parte da planta	Cinza (% em peso)	Sílica (%)
Milho	Folha	12	64
Arroz	Casca	20	93
Arroz	Palha	14	82
Cana de açúcar	Bagaço	15	73
Girassol	Folhas e talo	11	25
Trigo	Folha	10	91

Fonte: Mehta, 1992

Prudêncio (2003 apud DUART, 2008, p. 30) destaca ainda que a CCA produzida em nosso país seja uma excelente pozolana com desempenho comparado a Sílica Ativa. Segundo a NBR 12653 (1992) o termo pozolana é utilizado para definir um material que sozinho possui pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando na presença de água e finamente dividido, reage com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos de características aglomerantes.

Segundo Hoppe (2005), que estudou a resistividade elétrica de concretos adicionados com CCA, ocorreu aumento da resistividade elétrica dos concretos quando houve a substituição de parte do cimento por CCA, produzindo um concreto com maior durabilidade, defendendo a utilização da CCA e outras adições minerais como forma de diminuir o consumo de cimento e evitar o seu descarte e a conseqüente poluição do meio ambiente.

1.2.1.1 Características da CCA

Para Mehta (1992 apud PRUDÊNCIO, 2003, apud DUART, 2008, p. 32) a casca de arroz caracteriza-se por ser uma capa lenhosa do grão, dura e com elevado teor de sílica, composta com aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra.

De acordo com Silveira (1996), a coloração da CCA é determinada pelo processo de combustão e pelas modificações estruturais diante das variações de temperatura, sendo que quanto mais escura, maior o seu teor de carbono. Essas colorações variam do cinza, preto ao branco rosado, esta última indica a oxidação total do carbono.

Segundo Duart (2008) não existe um denominador comum em relação à temperatura ideal para a queima da CCA, contudo a maior parte dos autores apresenta valores entre 500 e 1100 ºC, e grande parte destes concordam que a quantidade de fases cristalinas na Sílica deve ser a menor possível e que temperaturas elevadas produzem CCA mais cristalina, em função desta ser resfriada naturalmente ao ambiente.

Conforme Isaia (1995 apud FRIZZO, 2001, apud KELM, 2011, p. 21) a CCA ocasionada da queima controlada de 400 a 600 ºC resulta em sílica amorfa abundante e altamente reativa com os compostos hidratados do cimento. Em contrapartida, a cinza queimada em temperaturas mais elevadas, de 800 a 1000 ºC apresenta compostos cristalinos, como cristobalita e quartzo, os quais não têm reação com os hidratados do cimento.

De acordo com Mehta & Monteiro (1994) a CCA pode ser definida como:

• Pozolana altamente reativa: quando a CCA é obtida por um processo de queima controlado. Neste caso, é composta basicamente de sílica pura, na forma não cristalina e em estrutura celular.

• Pozolana pouco reativa: quando a CCA é obtida por um processo de queima em campo e é constituída fundamentalmente por silicatos cristalinos, com uma pequena quantidade de matéria não cristalina, sugerindo que o material necessita ser moído e reduzido a um pó muito fino para desenvolver certa atividade pozolânica.

As características da cinza de casca de arroz também dependem da origem do arroz. Conforme Mehta (1994), embora queimadas com controle de combustão e pelo mesmo método, cinzas obtidas de casca de arroz de diferentes origens apresentam características diferentes.

1.3 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

1.3.1 Influência da adição de CCA na microestrutura do concreto

O termo macroestrutura é utilizado geralmente para definir a estrutura grosseira, visível para o ser humano, e o termo microestrutura é empregado para definir uma porção mais fina de uma macroestrutura, visível com o auxílio de um microscópio (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo Duart (2008) a observação da macroscopia do concreto possibilita a identificação de três componentes do concreto: a pasta de cimento, as partículas do agregado e os vazios. No estudo da microestrutura do concreto, três fases são muito importantes: agregado, matriz da pasta de cimento e uma interface entre estas denominada de pasta agregado ou Zona de Transição (ZT).

> 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 à resistência mecânica do concreto, e suas características e componentes são determinantes das características do concreto endurecido, em relação à resistência mecânica e a durabilidade (DUART, 2008, p. 39).

Mehta & Monteiro (1994) definem a ZT como sendo uma película delgada com espessura de 10 a 50µm ao redor do agregado, geralmente mais fraca que os outros dois componentes do concreto, exercendo influência muito maior sobre o seu comportamento mecânico, devido principalmente a sua espessura.

Conforme Mehta (1987 apud MORAES, 2001), os efeitos da adição de CCA no cimento portland são de natureza física e química, isto é, mesmo não totalmente pozolânicas, a introdução de partículas finas na pasta de cimento, acarreta segmentação dos poros maiores e incrementa os locais de nucleação para precipitação dos produtos

de hidratação, acelerando as reações e formando cristais de hidróxido de cálcio menores. A ação química através das reações pozolânicas reforça a ação física, segmentando poros e refinando, à medida que a idade aumenta os grãos de hidróxido de cálcio, originando uma pasta mais densa e compacta, resultando em um concreto com microestrutura mais homogênea e uniforme.

Para Mehta (1992 apud MORAES, 2001) os fatores que influenciam na microestrutura da pasta de cimento Portland com adições minerais são:

• diminuição do teor de silicato tricálcio (C_3S) devido à substituição de parte do cimento por adição;

• densificação da interface matriz-agregado pelos produtos de hidratação;

• diminuição da permeabilidade devido à melhor distribuição do tamanho dos poros, resultando na diminuição da taxa de difusão de íons agressivos;

• efeito físico causado pela presença física da adição.

Pouey (2006) observou que a CCA modifica a microestrutura da pasta, quando incorporada ao concreto em substituição parcial ao cimento, pois ao se combinar com o hidróxido de cálcio (CH), origina uma pasta menos heterogênea e mais resistente, apresentando menor calor de hidratação.

1.4 RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Para Mehta & Monteiro (1994) a resistência de um material é a sua capacidade de resistir às tensões sem romper.

A resistência é considerada a propriedade mais importante do concreto, embora em alguns casos práticos, as características de durabilidade e permeabilidade sejam mais importantes (NEVILLE, 1997).

A resistência à compressão axial é uma das propriedades mais analisadas do concreto. Na maioria das vezes, à medida que aumenta a sua resistência melhoram as demais variáveis, como estanqueidade, por exemplo, e com os resultados de resistência obtidos é possível determinar os valores de outras propriedades do concreto, como por exemplo, o módulo de elasticidade (MEIRA, 2009).

Conforme Helene & Terzian (1992), a resistência a compressão é o parâmetro do concreto que melhor o qualifica, considerando que para a dosagem e preparação os seus aspectos de durabilidade e trabalhabilidade tenham sido levados em conta, optando por determinada curva granulométrica, tipo e classe de cimento e relação água/cimento.

Qualquer modificação em algum destes parâmetros poderá indicar variação na resistência do concreto.

Segundo Mehta & Monteiro (1994), a resistência modifica conforme os parâmetros do corpo de prova (dimensões, geometria e estado de umidade), parâmetros de carregamento (tipo de tensão e velocidade de aplicação da tensão), e resistência das fases componentes, que dependem da porosidade da matriz (relação água/cimento, aditivos minerais, grau de hidratação e teor de ar aprisionado e incorporado), porosidade do agregado e porosidade da zona de transição (em função da relação água/cimento, aditivos minerais, características de exsudação, grau de compactação, grau de hidratação e a interação química entre o agregado e a pasta de cimento).

Para Meira (2009) o tipo de cimento também interfere na resistência. A finura do material influencia a sua reação com a água e, na maioria das vezes quanto mais fino o cimento, mais rápido ele reagirá.

1.4.1 Influência da adição de CCA na resistência do concreto

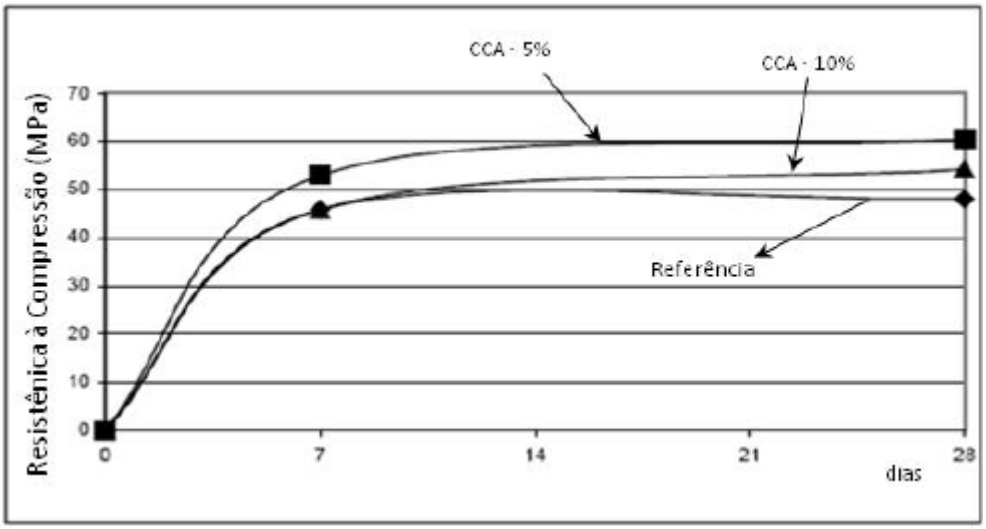
O concreto com adição de CCA tende a ter ganhos mais lentos de resistência por compressão axial, devido a presença de sílica ativa, pois a proximidade entre as partículas reagentes de sílica e cimento aumentam, aumentando também os pontos de nucleação. Isto acontece principalmente devido ao efeito fíller (MEIRA, 2009).

Isaia (1995) estudou os efeitos de adições minerais no concreto, objetivando verificar a sua durabilidade. Entre os resultados obtidos, pode-se citar o traço com adição de 30% de CCA e relação água/aglomerante (a/ag) de 0,30, obtendo aos 7 dias resistência de 70,9 MPa, e resistência de 50,5 MPa para misturas com 30% de CCA e relação a/ag de 0,50.

Tashima et al. (2004 apud DUART, 2008) verificaram aumento da resistência a compressão axial de concretos com adição de CCA moída durante 30 minutos e com controle de queima em percentuais de 5 e 10%, comparados com o concreto referência (Figura 3).

Estes autores notaram que os concretos com CCA aumentavam suas resistências quando comparados com o concreto sem adição de CCA, sugerindo a utilização de CCA para diminuir o impacto ambiental e melhorar as características do concreto.

Figura 3: Resistência do concreto com adição de CCA



Fonte: TASHIMA et al., 2004 apud DUART, 2008

Hoppe (2005) verificou que os concretos com adição de CCA aumentaram sua resistividade elétrica, devido ao refinamento da sua estrutura porosa, destacando a importância da utilização de adições minerais, entre elas a cinza de casca de arroz moída (CCAM), como forma de aumentar a durabilidade dos concretos, possibilitando também o aproveitamento de um subproduto industrial.

Missau (2004) observou a melhora da resistência de concretos com adição de CCAM, além da melhora da resistência à penetração de cloretos, para concretos com diferentes teores de adição de CCA (10, 20 e 30%), destacando a possibilidade de diminuição da poluição ambiental pelo uso deste rejeito industrial além da possibilidade de menor utilização de cimento, contribuindo para a redução das emissões de CO_2 na atmosfera.

Silva (2003 apud MISSAU, 2004) estudou a influência do uso da CCA, em níveis de substituição ao cimento no concreto de 5%, 10% e 20%, adotando para sua pesquisa a relação a/ag de 0,35. A CCA utilizada foi obtida da indústria de beneficiamento de arroz, sem controle de temperatura e moída por 3 a 5 horas em um moinho de bolas. Avaliou a resistência à compressão para as idades de 7, 28 e 63 dias, constatando aumento de 6,3% e 1,4% na resistência aos 7 dias, em relação a mistura de referência das misturas compostas com 5% e 10% de CCA, respectivamente. Foi observada redução de 6,2% na resistência para a mistura composta com 20% de CCA, em relação a mistura de referência. Aos 28 dias todos os níveis de substituição mostraram acréscimos nas resistências. Verificou aumento de 15,4%, 18,43% e 25,69%

na resistência, em relação aos 7 dias, para as misturas com 5%, 10% e 20%, respectivamente. Aos 63 dias também ocorreu aumento de 5,67%, 8,90% e 2,37% na resistência para as misturas com 5%, 10% e 20% de CCA. O autor concluiu com os resultados dos ensaios de resistência à compressão que os concretos produzidos com adição de CCA, sem controle de temperatura, possuem um potencial favorável para sua utilização na produção de concretos de alto desempenho.

Conforme os pesquisadores citados, as adições minerais, entre as quais a CCA, aumentam a resistência da pasta do concreto, fortalecendo a zona de transição e elevando a sua resistência mecânica.

2 METODOLOGIA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como básica, pois objetiva gerar novos conhecimentos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista.

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.

Do ponto de vista da forma de abordagem esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa.

2.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

2.2.1 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica para o suporte de informações necessárias para o entendimento da pesquisa.

Em seguida, foram realizados ensaios de caracterização dos materiais em laboratório, fundamentais para o processo de dosagem do concreto, tais como: granulometria dos agregados, tempo de pega do cimento, teor de argamassa para a determinação da trabalhabilidade. Foi realizada a dosagem pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e após, a moldagem dos corpos de prova (CP’s), os ensaios de resistência a compressão axial, resistência a tração na compressão diametral e água quimicamente combinada.

Foram desenvolvidos os seguintes traços no estudo:

• Traço referência TR, moldado somente com cimento;

• Traço T1, moldado com 7,5% de microssílica da cinza de casca de arroz em substituição ao cimento;

• Traço T2, moldado com 12,5% de microssílica da cinza de casca de arroz em substituição ao cimento;

• Traço T3, moldado com 17,5% de microssílica da cinza de casca de arroz em substituição ao cimento;

• Traço T4, moldado com 22,5% de microssílica da cinza de casca de arroz em substituição ao cimento.

Para cada traço foram moldados 9 CP's, com dimensões de 150x300mm, os quais foram submetidos aos seguintes ensaios:

• Resistência a compressão axial aos 7, 28 e 56 dias;

• Resistência a compressão diametral aos 28 dias;

• Água quimicamente combinada aos 7, 28 e 56 dias.

2.3 MATERIAIS UTILIZADOS

2.3.1 Aglomerantes

Foram utilizados no estudo o cimento Portland e a MCCA. O armazenamento destes materiais se deu em sacos plásticos fechados, objetivando conservar suas propriedades iniciais e evitar uma possível contaminação dos mesmos.

2.3.1.1 Cimento

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

O cimento utilizado foi o CPV-ARI, o qual atinge elevada resistência nos primeiros dias da aplicação. A Tabela 3 apresenta as características químicas deste cimento.

Tabela 3: Características químicas do cimento CPV-ARI

Componente Químico	Resultados (%)
Óxido de cálcio (CaO)	64,14
Dióxido de silício (SiO_2)	19,45
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	4,75
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	3,12
Anidrido sulfúrico (SO_3)	2,85
Óxido de magnésio (MgO)	0,8
Óxido de potássio (K_2O)	0,66
Óxido de sódio (Na_2O)	0,7
Finura Blaine (cm^2/g)	4729

Fonte: Panzera, 2011

Foram realizados ensaios no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Unijuí para a caracterização física do cimento (Tabela 4), utilizando as seguintes normas:

- Finura # 0,075mm – NBR 11579;
- Massa específica – NBR NM 23.

Tabela 4: Características físicas do cimento CPV-ARI

Propriedade	Resultado
Finura # 0,075 (%)	0,09
Massa específica (g/cm^3)	3,22
Massa unitária solta (kg/dm^3)	1,11
Tempo de pega (hrs)	3,03

Fonte: Próprio autor

2.3.1.2 Microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)

A cinza da casca de arroz utilizada é proveniente da cidade de Itaqui/RS, sendo obtida a partir da industrialização controlada da CCA. Caracteriza-se por ser uma microssílica cuja base é uma sílica finamente moída de coloração preta (Figura 4). A CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia realizou estudos para a caracterização da MCCA, e algumas de suas propriedades estão apresentadas na Tabela 5.

Figura 4: Microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)

Fonte: Próprio autor

Tabela 5: Propriedades da microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA)

Propriedade	Resultados
Massa específica	2,14kg/cm³
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	22,72 µm

Fonte: Cientec, 2010

2.3.2 Agregados

2.3.2.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado neste estudo foi areia média (Figura 5), proveniente da região de Santa Maria/RS, a qual é largamente utilizada em obras da nossa região. A areia foi seca em estufa e posteriormente depositada em uma padiola. Foram realizados os ensaios abaixo relacionados para a caracterização do material e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6 e na Figura 6.

• Composição Granulométrica – NBR 7217;

• Massa específica do agregado miúdo – NBR 9776;

• Massa Unitária Solta – NBR 7251.

Figura 5: Agregado miúdo utilizado

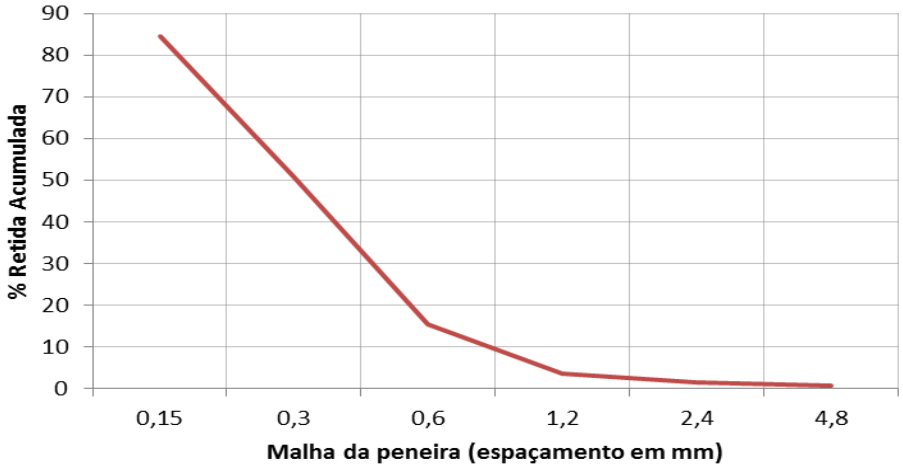
Fonte: Próprio autor.

Tabela 6: Características do agregado miúdo

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	2,58
Massa Unitária Solta (kg/dm³)	1,49
Diãmetro máximo (mm)	1,2
Módulo de Finura (%)	1,56

Fonte: Próprio autor

Figura 6: Granulometria do agregado miúdo



Fonte: Próprio autor

2.3.2.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0 (Figura 7), de origem basáltica e proveniente da região de Ijuí/RS. O agregado foi seco em estufa e, em seguida, depositada em uma padiola. Foram realizados os ensaios abaixo relacionados para a caracterização do material e os resultados obtidos estão descritos na Tabela 7 e na Figura 8.

- Composição Granulométrica – NBR 7217;
- Massa específica e absorção do agregado graúdo – NBR 9937;
- Massa Unitária Solta – NBR 7251.

Figura 7: Agregado graúdo utilizado

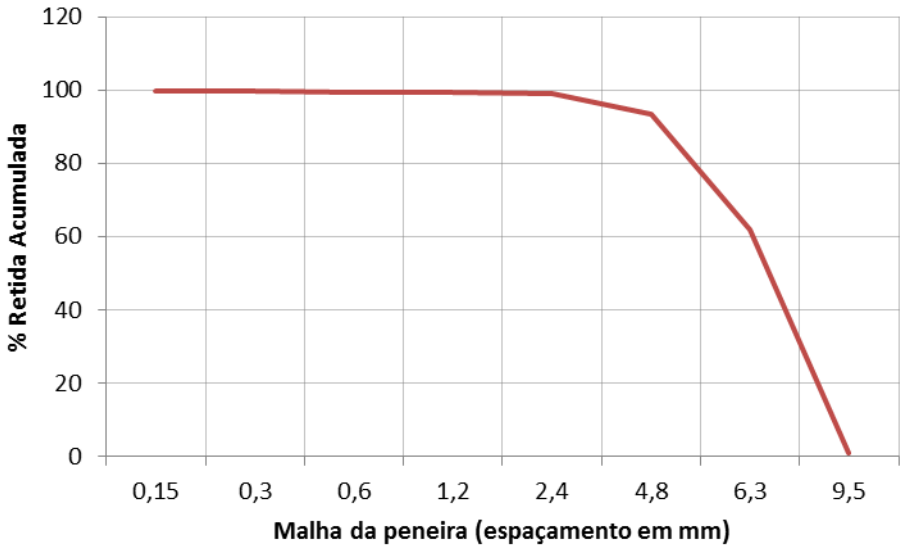
Fonte: Próprio autor

Tabela 7: Características do agregado graúdo

Propriedade	Resultado
Massa específica (g/cm³)	3,0
Massa Unitária Solta (kg/dm³)	1,38
Diãmetro máximo (mm)	9,5
Módulo de Finura (%)	6,53
Absorção (%)	1,93

Fonte: Próprio autor

Figura 8: Granulometria do agregado graúdo

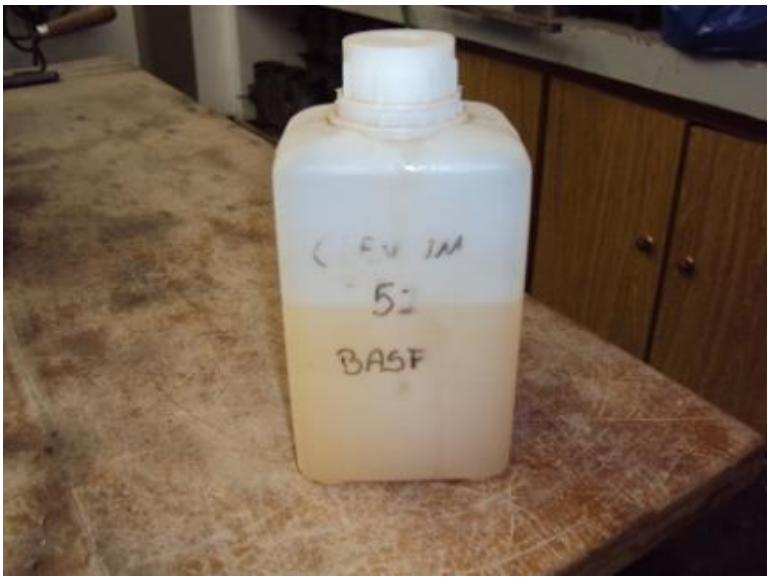


Fonte: Próprio autor

2.3.3 Aditivo

Para as misturas com substituição de cimento por cinza de casca de arroz, foi utilizado o aditivo Glenium 51 superplastificante (Figura 9), para atingir as consistências desejadas. As propriedades do aditivo utilizado estão descritos na Tabela 8.

Figura 9: Aditivo utilizado



Fonte: Próprio autor

Tabela 8: Propriedades do aditivo GLENIUM 51 superplastificante

Propriedade	Resultados
Base química	Policarboxilatos
Aspecto	Bege
Densidade	1,067 a 1,107g/cm³
pH	5 a 7
Sólidos	28,5 a 31,5%
Viscosidade	95 a 160 cps

Fonte: Manual GLENIUM

2.3.4 Água

Para a realização dos traços foi utilizada água proveniente de um poço artesiano, o qual abastece o LEC da Unijuí.

2.4 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

2.4.1 Dosagem dos traços

Foi adotado o Método de Dosagem da ABCP para a realização da pesquisa. Inicialmente foi 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.

A resistência calculada prevista para a idade de 28 dias foi de Fcj = 29,95 MPa. Através do Fcj obtido e dos resultados de caracterização dos materiais, foi calculado o consumo de materiais para o traço de referência (TR), este sem substituição de cimento por MCCA. Para o traço T1 houve substituição de 7,5% de cimento por MCCA, o T2 com substituição de 12,5%, o T3 com substituição de 17,5% e o T4 com substituição de 22,5%, sendo que a substituição de cimento por MCCA foi feita em massa. A Tabela 9 apresenta a quantidade de material utilizado em cada traço.

Tabela 9: Consumo de materiais para cada traço

Traço	Cimento (kg)	MCCA (kg)	Brita 0 (kg)	Areia (kg)	Aditivo (ml)	a/ag
TR	26,54	-	61,15	45,36	79,62	0,58
T1	24,55	1,99	61,15	45,36	79,62	0,61
T2	23,22	3,32	61,15	45,36	79,62	0,64
T3	21,9	4,64	61,15	45,36	79,62	0,64
T4	20,57	5,97	61,15	45,36	79,62	0,65

Fonte: Próprio autor

A mistura dos traços foi feita em betoneira, seguindo a norma NBR 5738 – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Foram confeccionados 9 corpos de prova (CP's) cilíndricos para cada traço, com dimensões de 15 cm de diâmetro por 30cm de altura, sendo que nesta pesquisa se utilizou 9 CP's para cada traço, 3 para ser rompido a idade de 7 dias, 3 para a idade de 28 dias e 3 para a idade de 56 dias. Passadas 24 horas da moldagem, os CP's foram desmoldados e acondicionados na câmara úmida do LEC onde permaneceram para cura e posterior realização dos ensaios.

2.4.2 Ensaio com a Caixa L

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.

Execução do ensaio:

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 (Figura 10), 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 (Figura 11).

Figura 10: Parte vertical da caixa L preenchida com concreto

Fonte: Próprio autor

Figura 11: Escoamento e nivelamento total do concreto

Fonte: Próprio autor

Com este ensaio obtem-se 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.

Para Tutikian (2004), o valor de H2/H1 deve ficar entre 0,80 e 1,00, valor adotado pela maioria dos pesquisadores como mostrado no Quadro 1, que apresenta

também as dimensões utilizadas para este tipo de equipamento. Quanto mais fluída estiver a mistura, mais rápido alcançará as marcas de 20 e 40 cm e mais nivelada terminará.

Quadro 1: 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)

Na Tabela 10 estão apresentados os valores obtidos para o parâmetro H2/H1, referentes ao ensaio com a Caixa L.

Tabela 10: Resultados do parâmetro H2/H1

Traço	H2/H1
TR	0,83
T1	0,82
T2	0,8
T3	0,8
T4	0,81

Fonte: Próprio autor

Analisando-se a Tabela 10, se observa que todos os traços de concreto apresentaram parâmetros de H2/H1 maiores que 0,8, portanto todos podem ser considerados concretos autoadensáveis. Os parâmetros T20 e T40 não foram medidos em função destes não serem fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

2.4.3 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 12).

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.

Figura 12: Slump flow test executado

Fonte: Próprio autor

Execução do ensaio:

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.

Alguns autores avaliam apenas os resultados do abatimento e espalhamento final do concreto, porém outros autores avaliam o parâmetro T50 cm, o qual se refere ao tempo gasto pelo concreto até atingir a marca de 500 mm. O Quadro 2 apresenta, segundo vários autores, os limites máximos e mínimos de resultados para o ensaio de espalhamento do Slump Flow Test.

Quadro 2: 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

A Tabela 11 apresenta os valores do Slump Flow Test para todos os traços.

Tabela 11: Resultados de espalhamento – Slump Flow Test

Traço	**Espalhamento (mm)**
TR	610
T1	620
T2	640
T3	630
T4	630

Fonte: Próprio autor

Analisando-se a Tabela 11, se observa que todos os traços de concreto apresentaram parâmetros de espalhamento maiores que 600 mm e menores que 800 mm, portanto todos podem ser considerados concretos autoadensáveis.

2.4.4 Ensaio de resistência a compressão axial

A resistência a compressão dos concretos foi verificada por meio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Os ensaios para a determinação das resistências foram feitos no LEC da Unijuí, em prensa nas idades de 7, 28 e 56 dias (Figura 13), a partir da moldagem, conforme a NBR 5739/2007, segundo a qual, a resistência à compressão deve ser calculada pela expressão abaixo.

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

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 13: Ensaio de resistência a compressão axial

Fonte: Próprio autor

2.4.5 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 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Os ensaios para a determinação das resistências foram feitos no LEC da Unijuí, em prensa na idade de 28 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 (Figura 15).

Figura 14: Ensaio de resistência a tração na compressão diametral

Fonte: Próprio autor

Figura 15: Detalhe da ruptura do corpo de prova a tração na compressão diametral

Fonte: Próprio autor

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

Equação 3: $$ft, D = \frac{2\ x\ F}{\pi\ x\ d\ x\ L}$$

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.

2.4.6 Ensaio de água quimicamente combinada (AQC)

O ensaio de água quimicamente combinada foi realizado nas idades de 7, 28 e 56 dias após a moldagem dos corpos de prova. Após o rompimento dos CP, com auxílio de uma furadeira de bancada, retirou-se aproximadamente 70 gramas (g) de pó de concreto de 1 CP por traço. Em seguida, este pó de concreto foi peneirado na peneira nº 200, e o passante foi então misturado em proporções iguais com álcool isopropílico com auxílio de um agitador eletromagnético (Figura 16), objetivando parar as reações de hidratação dos compostos de concreto. Após este processo o material foi colocado em estufa por 24 horas a temperatura de aproximadamente 105 ºC. Depois de decorridas 24 horas a amostra foi 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 foi colocada em uma mufla a temperatura de 550 ºC durante 1 hora (Figura 17), sendo então, retirado da mufla, pesada e levada ao dessecador a vácuo por 15 min. Após, a amostra foi 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 foi determinado pela expressão abaixo:

Equação 4: $$AC = \frac{P105 - P550}{P105}$$

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).

Figura 16: Agitador eletromagnético utilizado no ensaio de AQC

Fonte: Próprio autor

Figura 17: Mufla a temperatura de 550 ºC

Fonte: Próprio autor

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os valores obtidos para a resistência a compressão axial aos 7 dias estão ilustrados na Tabela 12. Observa-se que todos os traços com adição de MCCA, T1, T2, T3 e T4, apresentaram resistências inferior ao traço referência TR moldado somente com cimento, e que quanto maior o teor de adição de MCCA menor foi o valor obtido para a resistência a compressão axial.

Tabela 12: Resistência a compressão axial aos 7 dias

Traço	Idade (dias)	Resistência (Mpa)
Referência (TR)	7	29,62
7,5% CCA (T1)	7	26,88
12,5% CCA (T2)	7	25,19
17,5% CCA (T3)	7	23,42
22,5% CCA (T4)	7	19,51

Fonte: Próprio autor

Analisando a Tabela 12, observa-se que o traço referência TR obteve resistência de 29,62 MPa, sendo que os traços T1 e T2 apresentaram valores um pouco abaixo do traço TR, com resistências respectivas de 26,88 MPa e 25,19MPa. Os traços T3 e T4 obtiveram valores mais distantes do traço TR, com resistências de 23,42 MPa e 19,51 MPa, respectivamente.

Observou-se que quanto maior a relação a/ag, 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. Neste caso, o traço TR apresentou a relação a/ag de 0,58, menor que a relação a/ag dos traços T1, T2, T3 e T4, os quais apresentaram os respectivos valores de 0,61, 0,64, 0,64 e 0,65, comprovando que quanto maior a relação a/ag menor é a resistência do concreto.

Aos 28 dias de idade (Tabela 13), observou-se que os traços T1, T2, T3 e T4, moldados com adição de MCCA, não ultrapassaram o valor de resistência do traço de referência TR, moldado somente com cimento.

O traço TR foi o que apresentou a maior resistência, com valor de 39,66 MPa e o traço T4 foi o que obteve a menor resistência com 29,62 MPa.

Tabela 13: Resistência a compressão axial aos 28 dias

Traço	Idade (dias)	Resistência (Mpa)
Referência (TR)	28	39,66
7,5% CCA (T1)	28	34,29
12,5% CCA (T2)	28	36,22
17,5% CCA (T3)	28	30,36
22,5% CCA (T4)	28	29,62

Fonte: Próprio autor

Aos 56 dias (Tabela 14), novamente o traço TR obteve a maior resistência com 41,68 MPa e o traço T4 a menor resistência, com 34,89 MPa. O traço T1 atingiu a resistência de 40,74 MPa, ficando um pouco mais próximo do traço TR quando comparado a idade de 7 e 28 dias. Os traços T2 e T3 obtiveram resistências próximas, com 39,71 MPa e 39,04 MPa, respectivamente.

Tabela 14: Resistência a compressão axial aos 56 dias

Traço	Idade (dias)	Resistência (Mpa)
Referência (TR)	56	41,68
7,5% CCA (T1)	56	40,74
12,5% CCA (T2)	56	39,71
17,5% CCA (T3)	56	39,04
22,5% CCA (T4)	56	34,89

Fonte: Próprio autor

3.1.1 Evolução das resistências

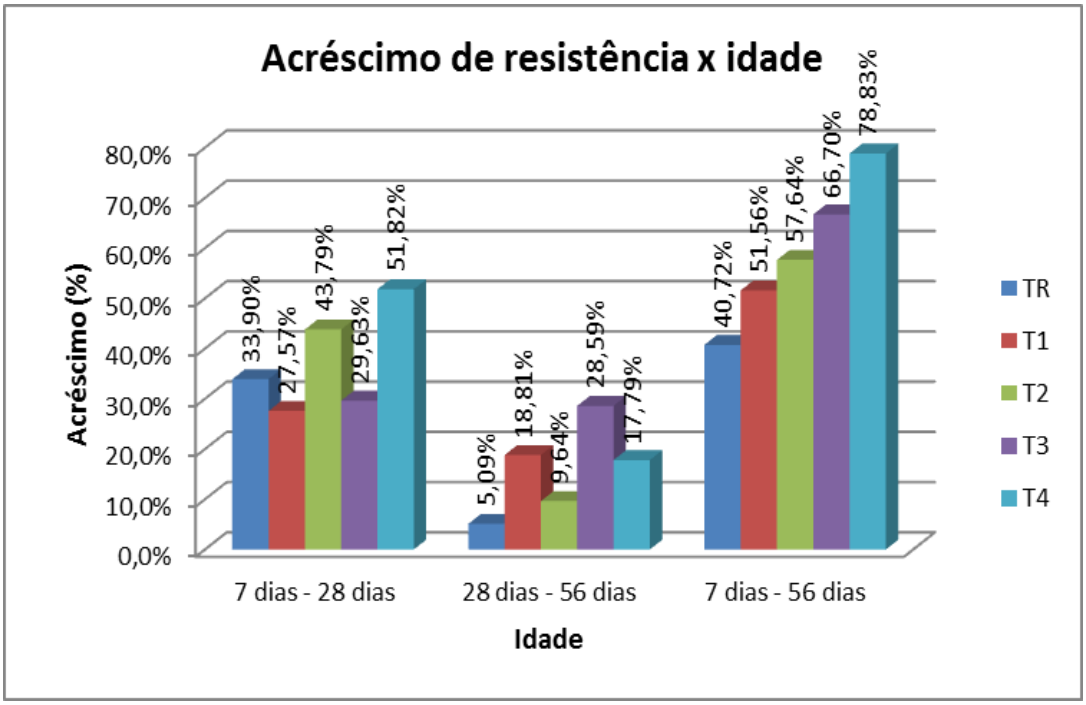
Na Tabela 15 e na Figura 18 são apresentados os valores da resistência a compressão axial para as idades de 7, 28 e 56 dias e o respectivo aumento da resistência em porcentagem (%) adquirido para cada traço de concreto neste período.

Tabela 15: Resultados da resistência a compressão axial

Traço	a/ag	Resistência a compressão (Mpa)			Aumento da resistência (Mpa)		
		7 dias	28 dias	56 dias	7-28 dias	28-56 dias	7-56 dias
TR	0,58	29,62	39,66	41,68	33,90%	5,09%	40,72%
T1	0,61	26,88	34,29	40,74	27,57%	18,81%	51,56%
T2	0,64	25,19	36,22	39,71	43,79%	9,64%	57,64%
T3	0,64	23,42	30,36	39,04	29,63%	28,59%	66,70%
T4	0,65	19,51	29,62	34,89	51,82%	17,79%	78,83%

Fonte: Próprio autor

Figura 18: Evolução das resistências em relação a idade



Fonte: Próprio autor

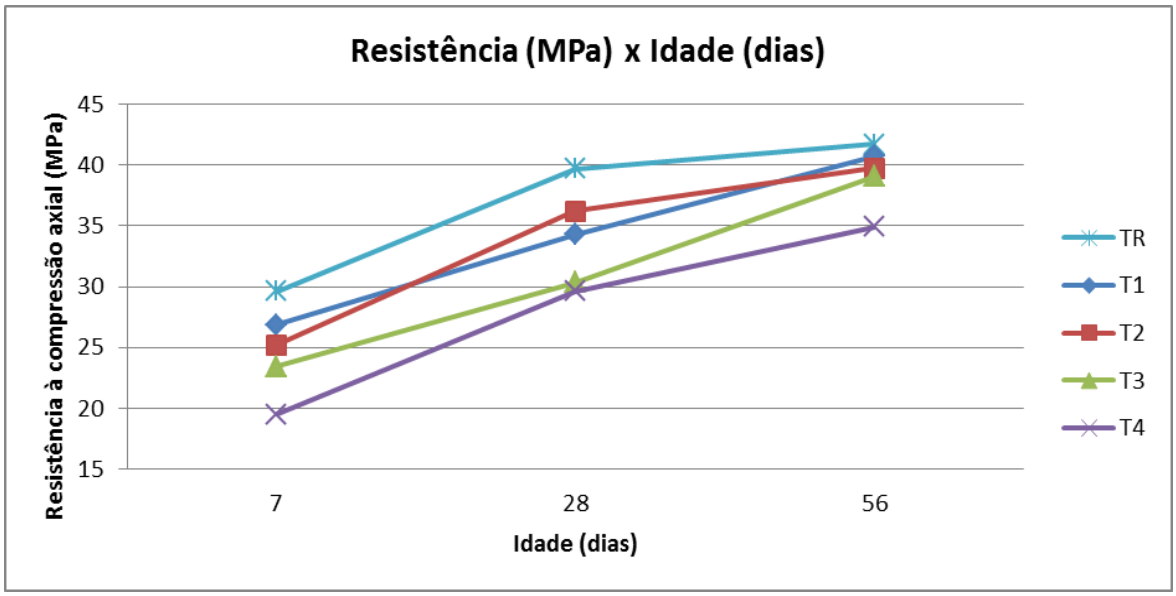
Analisando a Tabela 15 e a Figura 18, pode-se concluir que os traços T1, T2, T3 e T4, os quais tiveram substituição parcial de cimento por MCCA, apresentaram aumento da resistência superior ao traço TR moldado somente com cimento, e que quanto maior o teor de substituição, maior foi o ganho de resistência. 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 56 dias, chegando a ter um aumento de resistência de aproximadamente 79%, 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 no intervalo entre as idades de 7 e 56 dias foi obtido pelo traço de referência TR, com uma taxa de aumento de 40,72%. 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.

A Figura 19 apresenta o avanço da resistência a compressão axial ao longo do tempo para todos os traços estudados.

Figura 19: Avanço das resistências ao longo do tempo



Fonte: Próprio autor

Analisando-se graficamente se observa que o traço referência TR apresenta a maior resistência a compressão axial aos 7 dias, mas acaba se estabilizando ao longo do tempo, apresentando um menor avanço da resistência se comparado aos traços com adição de MCCA.

Os traços T1, T2 e T3 obtiveram resistências distantes do traço TR aos 7 dias, mas alcançaram resistências muito próximas ao traço TR aos 56 dias, devido aos seus altos ganhos de resistência em função das reações pozolânicas presentes na MCCA.

Nota-se que o traço T4, o qual tem a 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 56 dias.

Verifica-se que se fossem estudadas idades maiores, como 91 dias, os concretos com MCCA, atingiriam maiores resistências, pois segundo Frizzo (2001), os concretos com adições minerais beneficiam-se das reações pozolânicas em longo prazo, necessitando idades mais elevadas.

3.2 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

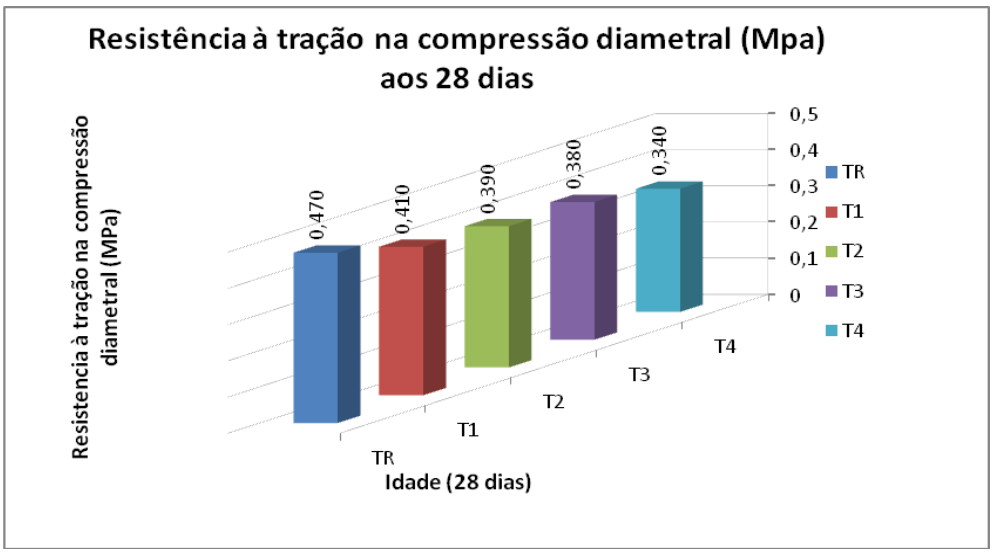
Os valores obtidos para a resistência a tração na compressão diametral aos 28 dias estão ilustrados na Tabela 16 e na Figura 20.

Tabela 16: Resistências a tração na compressão diametral

Traço	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Referência (TR)	28	0,47
7,5% CCA (T1)	28	0,41
12,5% CCA (T2)	28	0,39
17,5% CCA (T3)	28	0,38
22,5% CCA (T4)	28	0,34

Fonte: Próprio autor

Figura 20: Resistência a tração na compressão diametral aos 28 dias



Fonte: Próprio autor

Analisando a Tabela 16 e a Figura 20, observa-se que todos os traços com adição de MCCA, T1, T2, T3 e T4, apresentaram resistências inferior ao traço referência TR moldado somente com cimento. O traço referência TR obteve resistência de 0,47 MPa, sendo que os traços T1 e T3 apresentaram valores próximos, com resistências respectivas de 0,39 MPa e 0,41 MPa. Os traços T2 e T4 obtiveram valores mais distantes do traço TR, com resistências de 0,28 MPa e 0,34 MPa, respectivamente.

Como o ensaio foi realizado somente aos 28 dias, a reação pozolânica da MCCA com o CH proveniente da hidratação do CPV – ARI foi em menor grau. Uma explicação para este comportamento é que aos 28 dias o composto do cimento que teve o maior processo de hidratação foi o C_3S, responsável pela resistência inicial. Somente após os 28 dias o C_2S começa a aumentar o ganho de resistência. Fazendo a análise integrada com a resistência à compressão axial, observa-se que aos 28 dias a influência da reação pozolânica começa a aparecer, através do ganho de resistência e, dos 7 aos 28 dias consegue-se perceber esse fato. Porém, nessa idade, as reações pozolânicas não atingiram seu nível mais elevado, onde se verificou que para todas as misturas a resistência à tração na compressão diametral foi inferior à mistura referência. Provavelmente em idades mais avançadas as misturas com substituição parcial de cimento por MCCA iriam adquirir desempenho superior a mistura referência frente a este ensaio.

3.3 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. 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.

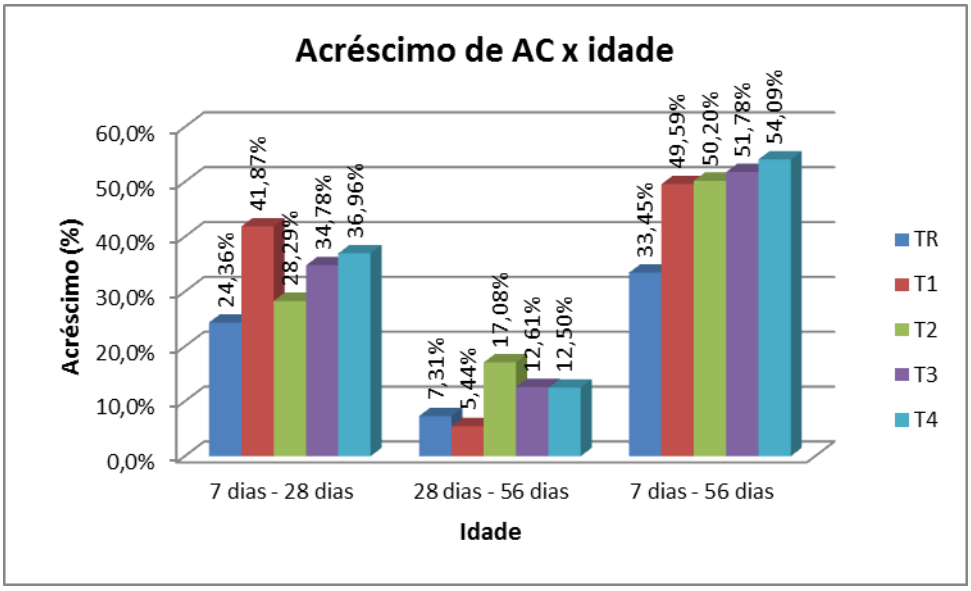
Tabela 17: Resultados da água quimicamente combinada (AQC)

Traço	a/ag	AQC			Aumento da AQC (%)		
		7 dias	28 dias	56 dias	7-28 dias	28-56 dias	7-56 dias
TR	0,58	2,75%	3,42%	3,67%	24,36%	7,31%	33,45%
T1	0,61	2,46%	3,49%	3,68%	41,87%	5,44%	49,59%
T2	0,64	2,51%	3,22%	3,77%	28,29%	17,08%	50,20%
T3	0,64	2,53%	3,41%	3,84%	34,78%	12,61%	51,78%
T4	0,65	2,57%	3,52%	3,96%	36,96%	12,50%	54,09%

Fonte: Próprio autor

A Figura 21 apresenta o acréscimo de água quimicamente combinada em relação a idade.

Figura 21: Acréscimo de AQC em relação à idade



Fonte: Próprio autor

Analisando a Figura 21, nota-se que as misturas com 17,5% e 22,5% de MCCA, respectivamente os traços T3 e T4, foram as que apresentaram os maiores teores de água quimicamente combinada.

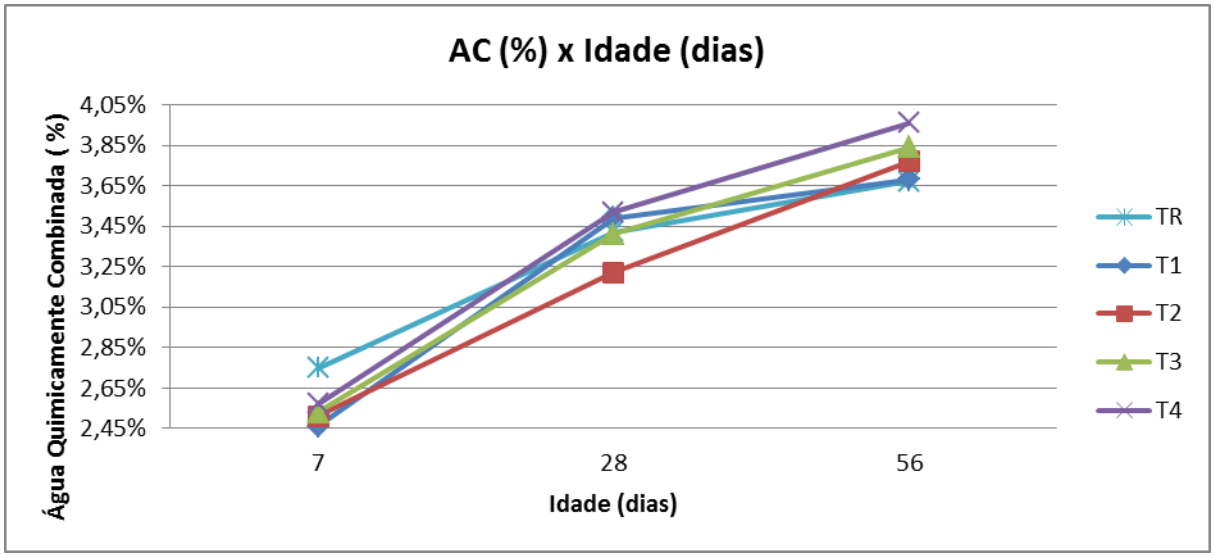
Observou-se que com o aumento do teor de adição de MCCA cresceu também o teor de água quimicamente combinada. Este comportamento foi verificado também por Duart (2008). Moraes (2001) pesquisou concretos com substituição parcial de cimento

por CCA nos teores de 15,5%, 25% e 50% e verificou que concretos com maiores teores de CCA apresentam maior porcentagem de água quimicamente combinada.

Este comportamento está 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.

A Figura 22 apresenta o avanço da água quimicamente combinada (AQC) em relação à idade.

Figura 22: Avanço da água quimicamente combinada (AQC) em relação à idade



Fonte: Próprio autor

Analisando-se graficamente (Figura 22) se observa que o traço referência TR apresentou o maior valor de água quimicamente combinada aos 7 dias e os demais traços obtiveram valores aproximados para a mesma idade. Já para a idade de 28 dias,

houve um aumento maior do valor de AQC dos traços T1, T2, T3 e T4, os quais têm adição de MCCA. Na idade de 56 dias, todos os traços com adição de MCCA, respectivamente T1, T2, T3 e T4, ultrapassaram o traço TR, obtendo um aumento constante dos seus valores de AQC, comprovando que quanto maior a relação a/ag da mistura, maior é o valor da AQC da mesma.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou avaliar se é tecnicamente viável a utilização de MCCA em concreto autoadensável, através da substituição do cimento por MCCA em teores de 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5%, analisando sua resistência em comparação ao concreto referência moldado somente com cimento.

Em relação à resistência a compressão axial, constatou-se que aos 7 dias de idade todos os traços com microssílica da cinza de casca de arroz (MCCA) apresentaram valores de resistência inferiores em comparação ao traço de referência moldado somente com cimento. Observou-se também, que quanto maior o teor de substituição de cimento por MCCA, menor foi o valor da resistência nesta idade.

Com um maior tempo de cura, aos 28 dias de idade, 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.

Aos 56 dias de idade, os valores da resistência dos traços com adição de MCCA se aproximaram do valor obtido para a resistência do traço de referência. Observou-se que quanto ao ganho de resistência dos 7 aos 56 dias, os traços com adição de MCCA obtiveram maiores taxas de aumento da resistência em comparação ao traço referência moldado somente com cimento.

Analisando-se o teor de substituição, verificou-se que o traço T4, com adição de 22,5% de MCCA, foi o que apresentou o maior ganho de resistência dos 7 aos 56 dias, obtendo aproximadamente 79% de aumento. Em compensação, o traço de referência apresentou o menor ganho de resistência neste período, com aproximadamente 34% de aumento.

Quanto a água quimicamente combinada (AQC), observa-se que em todas as misturas a porcentagem de água quimicamente combinada foi progressiva com o aumento da relação a/ag. Verificou-se que as misturas com 17,5% e 22,5% de MCCA, respectivamente os traços T3 e T4, foram as que apresentaram os maiores teores de

água quimicamente combinada, ou seja, com o aumento do teor de adição de MCCA cresceu também o teor de água quimicamente combinada (AQC).

Percebe-se que a utilização da MCCA em concretos possibilita o aumento da sua resistência para idades maiores, 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%.

Como continuidade do presente trabalho sugere-se:

− Continuar esta pesquisa, analisando as propriedades de resistência e microestrutura do concreto para idades maiores;

− Realizar ensaios de permeabilidade para verificar o comportamento da microssílica da cinza de casca de arroz quanto à durabilidade do concreto;

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM. O concreto auto-adensável apresenta grande fluidez e alta trabalhabilidade. Disponível em: < http://www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html>. Acesso em: 09 mai. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais Pozolânicos –** Especificação. NBR 12653. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

___. **Concreto** – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ARAUJO, J. L. et al. **Concreto autoadensável com materiais locais no nordeste brasileiro.** In: 45º Congresso brasileiro do concreto. CD-ROM, Vitória, 2003.

CAVALCANTI, D. H**. Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. 141p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

DUART, M. A. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento.** 2008. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/diss_marcelo_adriano_duart.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.

HOPPE, A. E. **Carbonatação em concreto com cinza de casca de arroz sem moagem.** 2008. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008.

HOPPE, T. F. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz.** 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Safra de 2012 bate recorde e chega a 162,1 milhões de toneladas.** Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2304>. Acesso em: 15 abr. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Ibama embarga e autua depósito de casca de arroz no RS.**

Disponível em: < http://www.ibama.gov.br/publicadas/ibama-embarga-e-autua-deposito-de-casca-de-arroz-no-rs>. Acesso em: 09 mai. 2013.

KELM, T. A. **Análise da resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz.** 2011. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí/RS, 2011. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wpcontent/uploads/tccs/2011/TCC_Tamile_Antunes_Kelm.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável.** 2008. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina/PR, 2008.

LÜBECK, A. **Resistividade elétrica de concretos de cimento portland branco e elevados teores de escória de alto forno.** 2008. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2008.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço.** 2006. 142p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. ed. São Paulo: Pini, 1994. 573p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

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, 2009.

MISSAU, F. **Penetração de cloretos em concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz.** 2004. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2004.

MORAES, R. C. **Efeitos físicos e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto.** 2001. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2001.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução de Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1997.828p., il.

PANZERA, T. H. et al. **Compósito cimentício reforçado com fibras de carbono para recuperação de monumentos históricos.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132010000400015&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 mai. 2013.

PEDROZO, E. C. **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, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 316p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2006.

SILVA, F. G. **Estudos de concreto de alto desempenho frente a ação de cloretos.** 2006. 236p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SOKOLOVICZ, B. C. **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.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2004.