



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA – UNIPAMPA
CAMPUS ALEGRETE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BRUNA HORTA BASTOS KUFFNER

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS NO ESTADO
FRESCO E MECÂNICAS DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

ALEGRETE/RS

2013

BRUNA HORTA BASTOS KUFFNER

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS NO ESTADO
FRESCO E MECÂNICAS DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. André Lübeck

ALEGRETE/RS

2013

BRUNA HORTA BASTOS KUFFNER

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS NO ESTADO
FRESCO E MECÂNICAS DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR SÍLICA DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de Setembro de 2013.

Banca examinadora:

Prof. Me. André Lübeck
Orientador - UNIPAMPA

Prof. Dr. Ederli Marangon
UNIPAMPA

Eng. Civil Marcelo Dias de Oliveira
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Ademar e Flávia, por terem feito tudo o que era possível para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me guiado e me protegido por toda a minha vida e principalmente por ter colocado no meu caminho a oportunidade de estudar engenharia civil, que sempre foi o meu sonho.

Aos meus pais Ademar Kuffner e Flávia Kuffner, por todo o amor incondicional, pelo apoio e ajuda diante de todas as dificuldades, me incentivando e revigorando com palavras de conforto.

À minha irmã Alice Kuffner, por todo amor, dedicação e companheirismo, principalmente na realização deste trabalho.

Ao meu querido namorado Kim Labrêa, por todo o carinho e compreensão que sempre tivera comigo durante toda a minha graduação e, principalmente, pela amizade que construímos ao longo de todos estes anos.

Ao meu grande amigo, Luis Urbano Durlo Tambara Junior, que esteve na realização de todos os ensaios e procedimentos deste trabalho de conclusão, pois sem sua ajuda esta pesquisa não teria procedido da mesma maneira. E também, pelo apoio e incentivo ao longo desses quase 10 anos de amizade.

À minha grande amiga Débora Righi, não apenas por ter colaborado com dados referentes a caracterização da sílica, mas também por sempre estar ao meu lado durante todo o curso.

Ao meu orientador André Lübeck, que sempre me auxiliou para que esta pesquisa pudesse ser concretizada, da melhor maneira possível.

Ao professor Ederli Marangon, por todo o conhecimento que me transmitiu na área de concreto autoadensável, que fora de extrema importância para que pudesse realizar este trabalho.

Ao professor Fladimir dos Santos, por todas as correções referentes à formatação e gramática, que foram de muita valia.

Ao engenheiro civil Marcelo Dias de Oliveira, por toda a ajuda que me deu durante os ensaios e concretagens que foram realizadas no laboratório de materiais de construção civil da UNIPAMPA.

À empresa Pilecco Nobre (RS), pela doação de sílica de casca de arroz pozolânica.

À empresa Grace Construction Products, pela doação de aditivos superplastificante de última geração e modificador de viscosidade.

À todos os demais, amigos e familiares, que de forma, direta ou indireta, contribuíram não apenas para a realização desta pesquisa, mas para o acréscimo do meu conhecimento.

“A educação é o nosso passaporte para o futuro, pois, o amanhã só pertence às pessoas que se preparam hoje”.

Malcolm X

RESUMO

A necessidade de novas tecnologias no ramo da construção civil tem levado cada vez mais os especialistas a desenvolverem novos materiais, com o intuito de otimizar as construções. O CAA surge como uma proposta, onde há uma redução nos custos e nas falhas decorrentes do processo de vibração manual, devido ao fato de ter a capacidade de adensar apenas com a força da gravidade. Seu uso associado a resíduos provenientes de subprodutos das áreas industriais, como por exemplo, a sílica de casca de arroz, pode proporcionar não apenas ganho ecológico, mas também ganhos de desempenho para o material concreto, principalmente no que se refere a resistência no estado endurecido e redução acentuada dos fenômenos de exsudação e segregação no estado fresco. Nesta pesquisa dosou-se um traço para concreto autoadensável com substituição parcial de 3,57% do cimento por sílica de casca de arroz e outro traço de referência, sem substituição. Para a avaliação de suas propriedades reológicas no estado fresco, utilizou-se os ensaios de Slump Flow Test e Slump Flow T50 Test para a verificação da fluidez, o ensaio de fluidez na Caixa L para testar a habilidade passante do concreto por entre as armaduras e o de Funil V 5 minutos para o conhecimento da capacidade de resistir ao fenômeno de segregação dos materiais. Já para o estado endurecido, rompeu-se corpos de provas nas idades 7 dias e 28 dias para a verificação da resistência à compressão axial e tração por compressão diametral. Os resultados obtidos indicam que a utilização da sílica de casca de arroz em concretos autoadensáveis proporciona diminuição da fluidez, uma vez que gera maior viscosidade na pasta, tornando-o de mais difícil manuseio se comparado com o concreto referência. Por outro lado, observou-se a redução da exsudação e da segregação. Em termos de resistência, o uso da SCA proporcionou acréscimo de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral.

Palavras-Chave: Concreto autoadensável, sílica de casca de arroz, ensaios reológicos.

ABSTRACT

The need for new technologies in the building industry has led more and more specialists to develop new materials, in order to optimize constructions. The self-compacting concrete emerges as a proposal where there is a reduction in costs and failures resultants from manual vibration's process due to having the ability to thicken with only the gravity's force. Its use in conjunction with waste by products from industrial areas such as the rice husk ash, can provide not only ecological gains, but also performance gains for the material concrete, particularly as regards the resistance at the hardened state and marked reduction of the phenomena of segregation and oozing fresh. For this research was dosed a dash for SCC with 3,57% of partial replacement of the cement for rice husk ash and other reference dash, without replacement. For finding their rheological properties, were used the assays of Slump Flow Test and Slump Flow Test T50 to check the fluidity, the assay of L -Box to test the concrete's ability of pass by obstacles and the V Funnel 5 Minutes to the knowledge of the ability to resist the phenomenon of the material's segregation. As for the hardened state, were broken up bodies of evidence at ages 7 days and 28 days to verify the axial compressive and traction by diametrical compression.. The results indicate that the use of rice husk ash in self-compacting concretes provides decrease in fluidity, since it generates higher viscosity in the paste, making it more difficult to handle compared to the reference concrete. On the other hand, there was a reduction of the exudation and segregation in the concrete with RHA. In terms of strength, the use of RHA provided increment of resistance in axial compression and in traction by diametrical compression.

Keywords: Self-compacting concrete, rice husk ash, rheological properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Akashi-Kaikyo	22
Figura 2 – Concretagem da laje do metrô de SP	23
Figura 3 – Sílica de casca de arroz da empresa Pilecco	35
Figura 4 – Determinação do índice de vazios mínimo	40
Figura 5 – Aparelho de Slump Flow Test.....	44
Figura 6 – Resultado Slump Flow Test	45
Figura 7 – Resultado Slump Flow T 50 Test sem segregação	46
Figura 8 – Medidas da Caixa L recomendada	46
Figura 9 – Teste Caixa L em andamento	47
Figura 10 – Aparelho de Funil V	48
Figura 11 – Resultado Funil V Test	49
Figura 12 – Ensaio de resistência a compressão.....	50
Figura 13 – Mecanismo de funcionamento do ensaio	51
Figura 14 – Ensaio de resistência a tração por compressão diametral	52
Figura 15 – Frasco de Chapman para o ensaio de massa específica	54
Figura 16 – Recipiente para ensaio de massa unitária da areia	55
Figura 17 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da areia	57
Figura 18 – Amostra de areia após ensaio de absorção de água.....	58
Figura 19 – Aparelho para o ensaio de massa específica da brita	59
Figura 20 – Pesagem da brita para ensaio de massa unitária.....	60
Figura 21 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da brita	62
Figura 22 – Pesagem de amostra de brita para ensaio de absorção de água.....	63
Figura 23 – Ensaio de massa específica do cimento	64
Figura 24 – Sílica de casca de arroz da empresa Pilecco Nobre	65
Figura 25 – Materiais utilizados no ensaio de teor de sólidos no aditivo superplastificante ..	66
Figura 26 – Betoneira utilizada para a determinação do esqueleto granular.....	67
Figura 27 – Ensaio de massa unitária para obtenção do peso unitário	68
Figura 28 – Equipamento de Slump Flow Test	70
Figura 29 – Equipamento de Caixa L confeccionado.....	72
Figura 30 – Equipamento de Funil V confeccionado	74
Figura 31 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 1	78
Figura 32 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 1	80
Figura 33– Resultado do teste de espalhamento do Traço 3	82
Figura 34 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 4	85
Figura 35 – Concreto sem presença de exsudação no Traço 4.....	86
Figura 36 – Medidas do Traço 4 no ensaio de Caixa L.....	86
Figura 37 – Procedimento do ensaio de Funil V 5 Minutos para o Traço 4.....	87
Figura 38 – Resultado do teste de espalhamento do Traço de Referência	88
Figura 39 – Concreto sem presença de exsudação no Traço de Referência.....	88
Figura 40 – Ensaio de Caixa L para o Traço de Referência	89

Figura 41– Ensaio de Funil V 5 Minutos para o Traço de Referência	89
Figura 42 – Corpos-de-prova rompidos a compressão e a tração no Traço 4	93
Figura 43 – Corpos-de-prova rompidos a compressão e a tração no Traço de Referência	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia	56
Gráfico 2 – Curva granulométrica da brita.....	61
Gráfico 3 – Teor de vazios e proporção dos materiais	69
Gráfico 4 – Resistência a compressão axial do CAA para o Traço 4 e de Referência.....	92
Gráfico 5 – Resistência a tração por compressão diametral do CAA para o Traço 4 e de Referência.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens da utilização do CAA.....	25
Quadro 2 – Desvantagens de utilização do CAA	26
Quadro 3 – Materiais para adições minerais	34
Quadro 4 – Efeito da adição de SCA no CAA	36
Quadro 5 – Ordem de importância dos ensaios para CAA no estado fresco.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão do cimento CP IV-32 em diferentes idades	28
Tabela 2 – Granulometria da areia	56
Tabela 3 – Granulometria da brita	61
Tabela 4 – Proporções testadas para obtenção do esqueleto granular	67
Tabela 5 – Proporções testadas para obtenção do esqueleto granular	68
Tabela 6 – Parâmetros iniciais para o Traço 1	77
Tabela 7 – Traço 1	77
Tabela 8 – Parâmetros iniciais para o Traço 2	78
Tabela 9 – Traço 2	79
Tabela 10 – Parâmetros iniciais para o Traço 3	81
Tabela 11 – Traço 3	81
Tabela 12 – Parâmetros iniciais para o Traço 4	82
Tabela 13 – Traço 4	83
Tabela 14 – Traço de Referência	84
Tabela 15 – Resultados reológicos do Traço 4	85
Tabela 16 – Resultados reológicos do Traço de Referência	87
Tabela 17 – Resultados Traço 4 x Traço de Referência no estado fresco	90
Tabela 18 – Resultados de resistência	91
Tabela 19 – Percentual de ganho de resistência	91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

CAA: Concreto AutoAdensável

CAA's: Concretos AutoAdensáveis

CC: Concreto Convencional

SCA: Sílica de casca de arroz

SCC: Self-Compacting Concrete

RHA: Rice Husk Ash

C₃A: Aluminato Tricálcico

C-S-H: Silicato de Cálcio Hidratado

UFMG: Universidade Federal de Campina Grande

Unisinos: Universidade do Vale do Rio dos Sinos

MPa: Mega-Pascal

sp/c: Relação superplastificante/cimento

sf/c: Relação pozolana/cimento

f/c: Relação fíler/cimento

a/c: Relação água/cimento

Ø: Diâmetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 CONTEXUALIZAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. HISTÓRICO MUNDIAL DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL	22
2.2. CONCEITOS GERAIS DO CAA	24
2.3. VANTAGENS DE UTILIZAÇÃO.....	24
2.4. DESVANTAGENS DE UTILIZAÇÃO.....	25
2.5. MATERIAIS CONSTITUINTES	26
2.5.1. Cimento Portland.....	27
2.5.2. Agregado Miúdo: Areia	28
2.5.3. Agregado Graúdo: Brita	29
2.5.4. Água	30
2.5.5. Aditivos superplastificantes	31
2.5.6. Aditivos modificadores de viscosidade	32
2.5.7. Adições minerais	33
2.5.7.1. Sílica de casca de arroz	34
2.6. MÉTODO DE DOSAGEM – GOMES, GETTU E AGULLÓ.....	36
2.6.1. Determinação da composição e volume da pasta	37
2.6.2. Determinação do esqueleto granular	39
2.6.3. Determinação da composição do CAA	41
2.7. ENSAIOS PROPOSTOS	42
2.7.1. CAA no estado fresco	42
2.7.1.1. Fluidéz.....	43
2.7.1.1.1. Slump Flow Test	43
2.7.1.1.2. Slump Flow T50 Test.....	45
2.7.1.2. Habilidade passante.....	46
2.7.1.2.1. Caixa L	46
2.7.1.3. Resistência a segregação (Coesão).....	47
2.7.1.3.1. Funil V 5 Minutos	47
2.7.2. CAA no estado endurecido.....	49
2.7.2.1. Ensaio de resistência à compressão axial	50
2.7.2.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	51
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	53
3.1. ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	53

3.1.1.	Areia.....	53
3.1.1.1.	Massa Específica.....	53
3.1.1.2.	Massa Unitária.....	54
3.1.1.3.	Granulometria.....	55
3.1.1.4.	Absorção de Água.....	57
3.1.2.	Brita.....	58
3.1.2.1.	Massa Específica.....	58
3.1.2.2.	Massa Unitária.....	59
3.1.2.3.	Granulometria.....	60
3.1.3.	Absorção de Água.....	62
3.1.3.	Cimento Portland.....	63
3.1.4.	Sílica de casca de arroz.....	64
3.1.5.	Aditivo superplastificante.....	65
3.2.	Definição do Esqueleto Granular.....	66
3.3.	ENSAIOS PROPOSTOS.....	69
3.3.1.	ESTADO FRESCO.....	69
3.3.1.1.	SLUMP FLOW TEST.....	69
3.3.1.2.	SLUMP FLOW T50 TEST.....	71
3.3.1.3.	CAIXA L.....	71
3.3.1.4.	FUNIL V 5 MINUTOS.....	73
3.3.2.	ESTADO ENDURECIDO.....	74
3.4.	DETERMINAÇÃO DO TRAÇO.....	76
3.4.1.	Traço 1.....	76
3.4.1.1.	Volume de Pasta e Consumo de cimento.....	76
3.4.2.	Traço 2.....	78
3.4.2.1.	Volume de Pasta e Consumo de cimento.....	78
3.4.3.	Traço 3.....	80
3.4.3.1.	Volume de Pasta e Consumo de cimento.....	80
3.4.4.	Traço 4.....	82
3.4.4.1.	Volume de Pasta e Consumo de cimento.....	82
3.4.5.	Traço de Referência.....	83
3.4.5.1.	Volume de Pasta e Consumo de cimento.....	83
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
4.1.	ESTADO FRESCO.....	85
4.2.	ESTADO ENDURECIDO: TRAÇO 4 (COM SCA) X TRAÇO DE REFERÊNCIA.....	91
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema e do problema de pesquisa

O ramo da construção civil é o que mais se desenvolve em todo o mundo. Com esse crescimento, muitos são materiais empregados, porém nenhum deles supera a forma mais tradicional, o principal material: Concreto.

Mehta e Monteiro (1994) relatam que o consumo mundial total de concreto em 1993 fora estimado em três bilhões de toneladas, o que era equivalente a uma tonelada por ser humano vivo. Nessa amplitude o homem não consome nenhum outro material, com exceção da água.

Contudo, com o avanço da tecnologia e a maior necessidade de otimização no canteiro de obras, pesquisadores têm procurado desenvolver meios de aperfeiçoar o concreto, a fim de se conseguir melhor desempenho no que se refere a acabamento, agilidade de execução, menor mão de obra, diminuição dos ruídos durante a construção, menor risco de acidentes, menor poluição e, conseqüentemente, redução dos custos. Mediante esta busca por inovações, surge em escala global uma alternativa ao Concreto Convencional (CC) que já se conhece, o concreto autoadensável (CAA).

Nunes (2001) ressalta que o CAA constitui-se de um novo processo de produção e lançamento de concreto, cuja principal característica está na eliminação da vibração e, assim, é possível reduzir significativamente o custo da obra e aumentar a qualidade do produto final.

De acordo com a Revista Techne (2008), o CAA surgiu no Japão no fim da década de 1980 com o intuito de reduzir os operários que participavam do processo de espalhamento e vibração do concreto, logo tornando-se popular nos países industrializados, mesmo sendo mais caro do que o concreto convencional. Era clara a vantagem econômica proporcionada pela redução da equipe de concretagem.

É visível a versatilidade e o alto potencial de desenvolvimento que estão contidos no CAA. Para isso, a necessidade de pesquisa se torna indispensável, pois sem um controle rigoroso e uma dosagem adequada, o uso deste pode se tornar inviável, devido a possibilidade de falhas de execução, que ocasionam defeitos na estrutura do material.

Tutikian (2008) explica que normalmente o custo do CAA é 10% maior com relação ao CC, mas que algumas indústrias que fabricam peças em pré-moldados conseguem

uma redução de até 2% desta diferença, podendo chegar em 8%. Todavia, este acréscimo pode ser contornado com a redução da mão de obra (operários).

Atualmente, na grande maioria dos casos, a justificativa econômica não pode mais ser usada como motivo para a não utilização do CAA. Por isso, acredita-se que a grande resistência de projetistas e construtores ainda esteja no desconhecimento da tecnologia, que, paulatinamente, está sendo desfeito. Isto reforça o fato de que apesar deste possuir um custo relativamente elevado com relação ao CC devido ao uso de aditivos, em contrapartidas ganha em outros aspectos, como os já citados acima.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), as adições minerais são materiais silicosos com granulometria baixa, e que se incorporadas no concreto, resultam em um efeito benéfico nas propriedades do mesmo, havendo uma considerável economia de energia e custo. Um exemplo de adição mineral é a sílica de casca de arroz.

A sílica de casca de arroz, um subproduto da calcinação da casca do arroz, vem ganhando importância no mercado da construção civil através de pesquisas realizadas utilizando-a como adição ou substituição do cimento em concretos e argamassas. Este interesse pelo reaproveitamento da SCA dá-se em virtude de fatores tanto ambientais, quanto da importância dos ganhos nas propriedades físicas do concreto.

O uso da sílica de casca de arroz está cada vez mais difuso no país, mas em especial no Rio Grande do Sul, que de acordo com Pouey (2006), é historicamente, o maior produtor de arroz no país, com cerca de 43,57% da produção nacional, variando este percentual conforme as condições climáticas de cada ano.

Tiboni (2007) diz que as mudanças que ocorreram ao longo dos anos no processo de beneficiamento do arroz fizeram com que as usinas termoelétricas gerassem energia para a secagem do produto. O que antes era produzido a base de madeira, agora é feito com a incineração da casca do arroz. Isto gera um volume elevado de sílicas sem valor comercial que, de forma geral, acabam sendo lançadas nos cursos de água ou em terrenos baldios, ocasionando poluição e contaminação de mananciais e da atmosfera. Como as empresas, normalmente são de pequeno porte, não possuem processos para aproveitamento e descarte adequados das sílicas produzidas.

No entanto, se corretamente queimada, a casca de arroz resulta em uma sílica de alta reatividade, passível de uso no concreto como uma pozolana. James e Rao (1986, apud Pouey, 2006) definem a SCA como uma importante fonte renovável de sílica (aproximadamente 93,57% do composto), mas também com percentuais menores de álcalis e

outros elementos. A sílica de casca de arroz pozolânica tem a capacidade de diminuir os poros da pasta de cimento, o que melhora a aderência entre pasta e agregado, melhora as reações de hidratação, diminui a lixiviação e proporciona maior resistência deste ao fenômeno de abrasão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Fazer um estudo das propriedades reológicas no estado fresco e mecânicas do concreto autoadensável com e sem substituição parcial do cimento por sílica de casca de arroz.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral do trabalho propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- a. Desenvolver dois traços: Um deles com a utilização da sílica de casca de arroz e outro sem sílica, como parâmetro de referência;
- b. Avaliar as propriedades destes traços no estado fresco, e verificar se estes conseguem atingir os requisitos mínimos exigidos pelas normas brasileiras de concreto autoadensável;
- c. Avaliar se o uso de sílica de casca de arroz no concreto autoadensável traz algum benefício em termos de ganhos de resistência à compressão axial e a tração por compressão diametral para o estado endurecido em diferentes idades.

1.3 Justificativa

O concreto autoadensável necessita de um controle rigoroso no seu desenvolvimento e fabricação, uma vez que precisa atender a parâmetros bem específicos de coesão e fluidez.

No entanto, apesar de inúmeras pesquisas já desenvolvidas no ramo da tecnologia de concreto, ainda existe carência no estudo e desenvolvimento de CAA's com diferentes tipos de adições minerais. Pesquisas sobre concretos autoadensáveis que incorporem a sílica de casca de arroz como adição são ainda mais raros.

Desta forma, este trabalho se justifica pois visa a obtenção dos efeitos que são causados em concretos autoadensáveis pela sílica de casca de arroz (características no estado fresco e endurecido), uma vez que os estudos sobre a SCA no concreto abordam em sua maioria concretos convencionais e argamassas.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Compreende a introdução da pesquisa, com a contextualização do tema e do problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa;
- Capítulo 2: Neste é tratada a fundamentação teórica, onde está retratado o histórico do concreto autoadensável, conceitos gerais, vantagens, desvantagens, materiais constituintes, método de dosagem e ensaios propostos;
- Capítulo 3: Este capítulo engloba a metodologia de pesquisa, com todos os materiais e procedimentos que foram realizados para que fosse possível obter-se os resultados deste trabalho;
- Capítulo 4: O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões de todos os ensaios e procedimentos realizados;
- Capítulo 5: Por fim, o capítulo 5 esclarece as conclusões da pesquisa e fornece sugestões para futuros trabalhos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Histórico mundial do concreto autoadensável

O CAA teve surgimento no Japão na década de 80, em um estudo iniciado pelo engenheiro civil Hajime Okamura da Universidade de Tóquio, com o intuito de aumentar a vida útil das edificações em concreto armado.

Okamura (2007) diz que uma ótima adensabilidade é necessária para obterem-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.

Apesar do investimento em pesquisas, o CAA começou a ter maior destaque apenas anos depois, em 1998, com o término da construção da ponte Akashi-Kaikyo, localizada no Estreito de Akashi, entre a cidade de Kobe e a ilha de Awaji, no Japão. Esta possui o maior vão livre do mundo (1991 m), sendo suas ancoragens realizadas em concreto auto-adensável, necessitando-se de 290.000 m³ do material.

Figura 1 – Ponte Akashi-Kaikyo



Fonte: Revista Casa Folha

Estudos acerca do CAA começaram na Europa nos anos 90, desencadeando uma série de pesquisas em vários países. Pode-se destacar também diversas outras obras ao redor do mundo, como 19 pontes e outros projetos na Suécia, La Sagrada Família em Barcelona, Espanha, e o túnel enclausurado Oresund entre Suécia e Dinamarca.

Araújo (2008) explica que estudos vêm sendo feitos por entidades americanas desde 2008 para a normatização, padronização e especificações para o CAA, fazendo com que

sua aplicação seja cada vez maior. Estima-se que já chegue a 5.000 m³ de concreto o volume utilizado por dia, em estruturas protendidas com CAA na América do Norte.

De acordo com a revista *Techne* (2008), o CAA ainda é pouco difundido no Brasil. Apesar de no Japão ter surgido na década de 80, no país lançou-se apenas uma década depois. Por aqui, é priorizado em fábricas de pré-fabricados pelo fato de dispensar vibração e ruídos. Quando utilizado in-loco, destaca-se nas seguintes situações:

- Estruturas que possuem alta taxa de armadura, o que dificultaria a concretagem e a vibração pelo método convencional, já que uma vez que se encoste acidentalmente o vibrador de imersão ou régua vibratória diretamente na armadura, esta pode deslocar-se, acarretando em falhas durante e após a concretagem;
- Dificuldade de acesso ou de promover os métodos vibratórios no local da concretagem;
- Vantagem econômica na redução de utilização de operários;
- Vantagem de reduzir o tempo de execução da obra;
- Uso como material inovador.

No Brasil, pode-se citar como uma obra de grande amplitude em CAA, a super laje construída no metrô de São Paulo. Segundo a Revista *Techne* (2008), necessitou-se para a sua construção, cerca de 8 mil m³ de concreto auto-adensável para que se pudesse preencher a peça de mais de 2 mil m² de área de superfície e cerca de 3,5 m de altura. Sua concretagem fora dividida em dois finais de semana no final de 2007, nos meses de novembro e dezembro. De acordo com o Consórcio Via Amarela, responsável pela construção da estação, essa foi uma das maiores concretagens já realizadas na história do Metrô de São Paulo.

Figura 2 – Concretagem da laje do metrô de SP



Fonte: CBC para revista *Téchné*

2.2. Conceitos gerais do CAA

Santos e Silva (2009) explicam o CAA como um concreto especial de alto desempenho capaz de preencher todos os espaços vazios das fôrmas apenas pela ação do seu peso próprio. Para ser classificado como tal, deve apresentar:

- Fluidez: É a capacidade que o material tem de escoar e preencher todos os espaços vazios presente na sua fôrma, sem que haja bolhas de ar ou área sem preenchimento.
- Habilidade Passante: Para que ocorra habilidade passante, o CAA deve possuir primeiramente fluidez. Com isso, este deve conseguir escoar por entre as barras de aço (armaduras), e ainda, manter-se coeso, sem que haja segregação.
- Resistência a Segregação: Condição na qual este concreto consegue atingir as propriedades citadas acima, de fluidez e habilidade passante, sem que partículas de material se desprendam ou se percam na mistura, ou seja, toda área deve manter-se homogênea, sem acúmulos em certas regiões.

Todas as considerações citadas acima estão diretamente ligadas com a resistência mecânica final do CAA endurecido, pois muitas vezes, este pode aparentar dosagem correta (quando produzido no canteiro de obras), mas quando lançado, sofrer falhas decorrentes de um traço inadequado.

É de fundamental importância que estes três quesitos sejam atendidos, uma vez que no CAA não pode lançar mão de artifícios de correção, como por exemplo, uso de vibradores de imersão ou qualquer outro tipo de aparelho vibratório (no caso de falta de fluidez). O que se espera deste, é que consiga através apenas do seu peso próprio, alcançar todas as regiões desejadas.

2.3. Vantagens de utilização

Diversos autores citam o CAA como um material inovador, possuindo diversas vantagens em relação ao concreto convencional. Considerando-o uma das maiores tecnologias desenvolvidas no ramo da construção civil nos últimos anos. O Quadro 1 exemplifica os principais ganhos obtidos com o uso do concreto autoadensável nas construções pelo mundo.

Quadro 1 – Vantagens da utilização do CAA

Vantagens	Motivo
Aumento da durabilidade	Devido ao adensamento homogêneo, permite peças com eliminação de falhas.
Concretagem de seções reduzidas	Devido a sua alta fluidez, consegue-se concretar lugares de difícil acesso e com alta taxa de armadura.
Eliminação de Ruídos	Eliminação do processo de vibração, o que gera eliminação deste tipo de ruído.
Ganho Ecológico	Com a adição de resíduos, como por exemplo, sílica volante e sílica de casca de arroz, podemos obter ganho ecológico.
Ganho de tempo na execução do projeto	Eliminação do processo de vibração, o que gera ganho de tempo.
Liberdade de formas e dimensões	Devido a facilidade e fluidez na concretagem, permite liberdade de formas.
Local de trabalho mais seguro	Eliminação do número de operários torna o local do canteiro de obras mais seguro.
Melhor acabamento superficial	Devido ao adensamento homogêneo, permite peças com eliminação de falhas.
Redução de custos	Com redução do número de operários, podemos reduzir custos.
Redução do número de operários	Eliminação do processo de vibração, o que gera redução de operários.

Fonte: Tutikian (2004)

2.4. Desvantagens de utilização

Apesar de possuir mais vantagens do que desvantagens, pode-se destacar algumas razões que tornam o CAA um material de ainda baixa utilização. O Quadro 2 revela as principais razões que tornam este um material menos utilizado do que o CC.

Quadro 2 – Desvantagens de utilização do CAA

Desvantagens	Motivo
Alto custo	Devido ao uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, o custo do m ³ de concreto se torna mais elevado.
Cuidados especiais no transporte	Deve-se ter um cuidado especial no transporte, para que o mesmo não sofra de segregação ou perda de fluidez.
Difícil controle tecnológico	É naturalmente mais difícil de ser dosado, pois faz-se o uso de aditivos que devem ser dosados na quantidade exata.
Maior necessidade de controle	Sem o controle adequado, este pode sofrer de segregação, perda de fluidez e ainda, falta de autoadensamento.
Menor tempo disponível de aplicação	Devido ao uso de aditivos, este deve ser rapidamente aplicado.

Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008)

Todas as desvantagens apresentadas podem ser facilmente contornadas. Por exemplo, o custo com materiais pode ser mais alto se comparado ao CC devido ao uso de aditivos, porém, em contrapartida, a redução na mão de obra é drástica.

Dal Molin (2008) explica que a maior dificuldade com relação ao transporte do concreto autoadensável é por conta da questão dos superplastificantes. Eles não podem ser misturados na central de dosagem, mas apenas alguns instantes antes do lançamento pois têm um período de vida mais curto, principalmente em climas mais quentes. Não se trata de um grande problema, mas é um empecilho. É a única diferença significativa entre ele e o concreto convencional.

2.5. Materiais constituintes

Segundo Busnello e Damião (2008), o CAA é produzido com os mesmos materiais utilizados na produção do CC, ou seja, água, cimento, areia e brita, porém, além destes, outros materiais são utilizados, como aditivos superplastificantes, adições minerais e aditivos modificadores de viscosidade. Seu traço necessita de maior teor de finos passantes na

peneira # 0,075 mm, restrição à utilização de agregados graúdos superiores a 19 mm e maior teor de argamassa.

As composições e propriedades de cada material constituinte, tanto no CAA quanto no CC, podem variar muito na sua composição. No caso do concreto auto-adensável, a necessidade de um maior controle se faz indispensável, uma vez que este precisa de uma dosagem muito rigorosa, pelo fato de que leva na sua elaboração aditivos, que podem instantaneamente modificar a plasticidade, viscosidade e conseqüentemente, a sua resistência após endurecido.

Goodier (2003) reforça que quando o CAA está no seu estado fresco fica muito mais suscetível a variações de qualidade e uniformidade dos seus componentes. Em virtude disso, calcular a proporção correta torna-se indispensável para a boa qualidade do produto final (no estado endurecido).

De acordo com Domone (2006), que analisou os materiais constituintes de 68 misturas de CAA's produzidos em diversos países, as principais diferenças deste para o CC são as seguintes:

- Reduzido conteúdo de agregado graúdo;
- Maior conteúdo de pasta;
- Alto conteúdo de finos (partículas menores que 0,125 mm);
- Baixa relação água/finos;
- Alta dosagem de superplastificante;
- Utilização de modificador de viscosidade (opcional).

2.5.1. Cimento Portland

Cavalcanti (2006) diz que em geral não existe um cimento específico para a confecção do CAA, podendo-se utilizar qualquer tipo, inclusive o Portland CP IV-32.

Tutikian e Dal Molin (2008) ainda explicam que podem existir alguns fatores na microestrutura do cimento que podem resultar em variabilidade nas propriedades reológicas finais do material fresco. Para que isto não ocorra, deve-se procurar seguir as especificações abaixo:

- Sua granulometria deve ser adequada;
- Controle na quantidade de Aluminato Tricálcico (C_3A) no cimento, uma vez que, quanto menor for a quantidade deste na mistura, mais longo será o seu período de

enrijecimento. O autor afirma que na prática, cimentos com teores de C_3A maiores do que 10% podem resultar em rápida perda de fluidez, dificultando a aplicação do CAA em obras.

- Maior superfície específica das partículas, menor a tensão de escoamento, o que proporciona aumento na viscosidade da mistura. Contudo, deve-se cuidar o calor de hidratação e conseqüentemente o aparecimento de fissuras por retração.

De acordo com a ABCP (2002) a adição de materiais pozolânicos no cimento modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusibilidade iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Estes repercutem diretamente no comportamento do concreto, o que melhora seu desempenho à ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Outras propriedades são também alteradas, incluindo: A diminuição do calor de hidratação, o aumento da resistência à compressão em idades avançadas e a melhor trabalhabilidade. A resistência à compressão mínima para diferentes idades é dada na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência à compressão do cimento CP IV-32 em diferentes idades

Cimento	Resistência 1 dia (MPa)	Resistência 3 dias (MPa)	Resistência 7 dias (MPa)	Resistência 28 dias (MPa)	Resistência 91 dias (MPa)
CP IV-32	-	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 32,0$	$\geq 40,0$

Fonte: Adaptado de ABCP (2002)

2.5.2. Agregado Miúdo: Areia

Para a produção do CAA, pode-se utilizar das mesmas areias que são utilizadas na confecção do CC. Não há grandes restrições, mas deve-se dar preferência para o uso de areias naturais, provenientes da beira dos rios e de depósitos eólicos, uma vez que o uso de areia britada pode ocasionar efeitos não desejados na mistura. Segundo Almeida (2005), a aplicação da areia de britagem, irá produzir efeitos no concreto diferentes do que se fosse utilizado areia natural, especialmente no estado fresco, como diminuição da plasticidade e aumento na demanda de água. Isso ocorre porque a britagem confere ao material uma maior porcentagem de material pulverulento – dimensões inferiores a 75 μm . A textura e a forma dos grãos são fatores que colaboram para a modificação das características do concreto no estado fresco.

Estes fatores podem afetar a fluidez do concreto, e no caso do autoadensável, que esta propriedade é indispensável para uma boa produção, a areia de britagem não é indicada, uma vez que Mello (2005) explica que um agregado com granulometria descontínua pode produzir problemas no concreto, como elevação no consumo de cimento, redução da fluidez e formação de vazios entre partículas de agregados de maior dimensão.

Com relação ao uso de areia industrial, esta deve ser utilizada em associação com outra areia, como areia de rio, uma vez que possui irregularidades na sua composição granulométrica, o que pode interferir no resultado final do CAA. Neviile (1997) diz que agregados que possuem uma distribuição granulométrica descontínua podem produzir concretos com uma maior tendência a segregar.

No geral, as areias naturais possuem um formato mais arredondado do que as areias não naturais citadas acima, e uma textura mais lisa, o que é mais desejado no caso do CAA, por proporcionar maior fluidez da mistura, com o mesmo traço.

Okamura e Ouchi (2003) afirmam que quanto mais angulosas forem as partículas do agregado miúdo, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, e consequentemente, maior será a resistência ao fenômeno de deformação.

Quanto ao tamanho, deve-se dar preferência as areias finas, uma vez que o CAA necessita de finos na sua composição, e utilizando-se de areais com módulo de finura pequeno, maior será a coesão obtida na hora de fabricar-se o concreto auto-adensável, o que fará com que ocorra maior resistência a segregação da mistura. Segundo Bartos (2000), as areias muito grossas, que possuem módulo de finura superior a 3, podem levar o concreto a segregação, e devem ser evitadas na produção do CAA.

Domone (2006) ressalta que um importante fator que não pode deixar de ser considerado, é a umidade da areia, que deve ser muito bem seca, para evitar efeitos negativos na fluidez da pasta. Erros que compreendem a faixa de 0,3,57% na estimativa da umidade dos agregados, tanto miúdo quanto graúdo, podem alterar o consumo de água em até 8 kg/m³ de concreto, e modificar o resultado do ensaio de espalhamento em até 45mm, afetando negativamente as propriedades mecânicas e a durabilidade do material.

2.5.3. Agregado Graúdo: Brita

Os requisitos para a escolha da brita são mais rigorosos do que se comparados ao do cimento e areia. Isto se deve ao fato de que este é o maior material presente na composição do concreto autoadensável, e o cuidado é especial em decorrência da habilidade passante que

precisa ser alcançada pela mistura, para que se forme o CAA armado, sem que ocorra segregação.

De acordo com Mehta e Monteiro (2006), a distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, como resultado altera a fração volumétrica das britas que serão incorporadas ao concreto. A fração volumétrica está relacionada diretamente ao módulo de elasticidade do concreto e à retração por secagem, sendo menos deformáveis e com menor possibilidade de fissurarem pelo fenômeno de retração por secagem, concretos com mais agregados e, conseqüentemente, com menor teor de argamassa.

Isso reforça o fato de que o CAA deve conter quantidade significativa de agregado graúdo ou brita na sua composição, para que fenômenos como os citados acima não ocorram. No entanto, estes agregados devem obedecer a parâmetros básicos, a fim de evitar a variabilidade entre cada uma das partículas e conseqüentemente, gerar defeitos.

Fochs (2011) explica que o diâmetro máximo do agregado deve ser limitado conforme espaçamento entre as barras de aço, sendo geralmente entre 12 mm e 20 mm. O tamanho e a forma dos agregados no CAA influenciam diretamente a fluidez e a capacidade de fluir coeso entre os obstáculos.

Recena (2011) ressalta que agregados graúdos, classificados como brita 0 ou pedrisco, em geral, apresentam maior superfície específica, maior quantidade de finos e menor massa unitária, em relação a brita 1, exigindo um teor maior de argamassa e uma maior massa de água sobre a massa total de materiais secos para atingir uma mesma trabalhabilidade que um concreto produzido com brita 1.

2.5.4. Água

A água recomendada para a fabricação do CAA é a mesma que é recomendada para a fabricação do CC. Esta deve ser água doce e cristalina, sem qualquer tipo de resíduo, seja ele orgânico ou não, para que não afete as propriedades físicas e mecânicas, tanto no estado fresco, quanto no endurecido.

De acordo com a ABNT/CB-18 os diversos tipos de água podem ser classificados como os seguintes para o uso em concretos:

- Água de abastecimento público é adequada para o concreto sem necessidade de realizar ensaios;

- A água potável que atende a portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma;
- Água de esgoto mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concretos;
- Água de fontes subterrâneas ou de captação pluvial ou ainda oriunda de processo residual industrial pode ser boa para uso do concreto, mas deve ser ensaiada;
- No caso de água salobra (água com salinidade entre a da água do mar e das chamadas águas doces) também pode ser utilizada, mas somente em concreto não armado. Para ambos a água deve ser ensaiada. De forma alguma usar água salobra em concreto armado ou protendido.

2.5.5. Aditivos superplastificantes

Os aditivos superplastificantes surgiram com o intuito de reduzir ao máximo o consumo de água na pasta de cimento, que é um dos fatores que faz com que o concreto ou argamassa percam resistência, devido à falta de coesão entre as partículas. As principais características que um aditivo desta categoria deve proporcionar são a redução de água em pelo menos 12% e o aumento na trabalhabilidade sem que haja redução na resistência (maior fluidez).

Hartmann (2002) explica que existem diversos aditivos no mercado, tanto plastificantes quando superplastificantes. Estes podem ser agrupados em quatro categorias, de acordo com sua composição química:

- Lignossulfonatos (LS): Aditivos de primeira geração, que agem reduzindo a água da mistura.
- Sais sulfonatos de policondensado de naftaleno e formaldeído (NS): Aditivos de segunda geração, que reduzem até 23,57% da água da mistura.
- Sais sulfonatos de policondensado de melamina e formaldeído (MS): Aditivos de segunda geração, que reduzem até 23,57% da água da mistura.
- Policarboxilatos (PC): Aditivos de terceira geração, que reduzem até 40% de água da mistura.

Os aditivos indicados para o uso no concreto autoadensável são os superplastificantes a base de policarboxilatos (PC), pela razão de possuírem o maior índice de redução de água. O funcionamento deste aditivo nas partículas de cimento se dá da seguinte forma:

- Adsorção superficial;
- Carga eletrostática de mesmo sinal sobre a partícula de cimento;
- Dispersão por repulsão.

Souza (2008) relata que além da dispersão eletrostática, nos aditivos de 3º geração existe um mecanismo estérico adicional, gerador de uma dispersão pronunciada e prolongada. Este mecanismo acontece devido à existência de cadeias laterais prolongadas ou de grande densidade molecular do dispersante, o que impedem fisicamente a aproximação das partículas onde estão adsorvidas. Esta propriedade dos superplastificantes de 3º geração chama-se mecanismo estérico-eletrostático. Este mecanismo aumenta consideravelmente o efeito dispersivo do aditivo em função do seu maior alcance espacial.

Ainda Granato (2008) reforça que o tamanho das cadeias laterais é responsável por uma maior duração deste efeito dispersivo. As largas cadeias laterais destes aditivos, unidas à estrutura polimérica geram uma energia que estabiliza a capacidade de refração e dispersão das partículas de cimento.

De acordo com ACI (2003), devem-se cuidar certos aspectos relativos ao cimento para melhores resultados entre este e o aditivo. Cimentos com maior quantidade de C_3A perdem mais rápido a consistência inicial na presença de superplastificantes.

Outro fator que afeta a consistência da mistura é a temperatura, que deve estar sempre abaixo dos 32°C. Em caso de temperaturas acima, deve-se resfriar a pasta, para que não haja perda de consistência.

2.5.6. Aditivos modificadores de viscosidade

Para a confecção de um concreto autoadensável, necessita-se do uso de aditivos superplastificantes. Estes por sua vez, são responsáveis pelo aumento da fluidez do material, para que consiga preencher os espaços vazios dentro das fôrmas uniformemente. Porém, em contrapartida, o uso deste tipo de produto leva a redução da viscosidade da pasta, o que tende a gerar segregação. Para que isto não ocorra, o aditivo modificador de viscosidade (AMV) apresenta-se como solução.

Trabalhando juntamente com o superplastificante de terceira geração, é responsável por proporcionar ao CAA maior resistência ao fenômeno de segregação e redução da exsudação e da permeabilidade. Isto ocorre porque este aumenta a coesão da pasta de

cimento, o que tende a restringir o afundamento das partículas do agregado graúdo na argamassa.

Persson (2001) explica que para evitar a segregação entre as partículas maiores no CAA são usados aditivos modificadores de viscosidade ou fílers para aumentar a viscosidade.

Dinah Meireles et. al. (2009) descrevem a ação química de um AMV: As partículas dos polímeros, ao entrarem em contato com água, passam a adsorvê-la, devido a presença de grupos hidrofílicos presentes na cadeia polimérica. O que ocorre imediatamente é o inchamento destas partículas que, na presença de quantidade suficiente de água, se dissolvem e formam um gel. Por sua vez, este gel, também chamado de hidrogel, aprisiona as moléculas de água, o que resulta em alta viscosidade. A formação da estrutura de gel e a alta viscosidade da fase aquosa reduzem muito a mobilidade de partículas na mistura.

Marangon (2006) ressalta que a utilização de aditivos modificadores de viscosidade pode gerar no concreto um comportamento pseudoplástico, correspondente à redução da viscosidade em função do aumento da taxa de cisalhamento aplicada. Este efeito pode facilitar a utilização do CAA, pois, como o lançamento do concreto nas formas ocorre sob elevadas taxas de cisalhamento, a viscosidade diminui, facilitando esta operação

É imprescindível o uso deste tipo de material na confecção de um concreto autoadensável. Sem ele, o agregado graúdo afundaria e ficaria retido apenas na parte inferior da peça, levando a uma redução drástica da resistência. Apesar do aditivo modificador de viscosidade ser associado juntamente com o aditivo superplastificante.

Otaviano (2007) afirma que é necessário um maior controle no que se refere ao teor de AMV no CAA, tal como a sua compatibilização com o superplastificante, para que não ocorram problemas com o retardamento da pega, alteração no desenvolvimento de resistência nas primeiras idades, coesão excessiva e ainda, aumento da retração por secagem.

2.5.7. Adições minerais

As adições minerais fazem parte de uma gama de materiais utilizados no concreto autoadensável, que possuem diversas finalidades, como por exemplo, aumentar a coesão da argamassa, para evitar que o fenômeno de segregação ocorra. Estas podem ainda, desempenhar dois efeitos na estrutura do material: os efeitos químico e físico.

Farias et. al. (2012) explicam as adições minerais com dois possíveis efeitos:

- Quimicamente ativas (Reativas): Contribuem para a formação dos hidratos;

- Sem atividade química (Inertes): Promovem uma ação física por meio da maior compacidade.

Marangon (2006) explica que devido às exigências de reologia especiais do CAA no estado fresco, adições minerais inertes e reativas são comumente usadas com o intuito de melhorar e manter a trabalhabilidade deste concreto, regulando o conteúdo de cimento e reduzindo o calor de hidratação.

Quadro 3 – Materiais para adições minerais

Adições minerais quimicamente ativas (Materiais cimentícios ou pozolânicos)	Adições minerais sem atividade química (Materiais naturais ou inorgânicos)
Sílica de casca de arroz	Fílers
Sílica voltante	-
Escória de alto forno	-
Metacaulim	-
Sílica ativa	-

Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008)

No geral, todas estas adições são adequadas para utilização no CAA. Porém, a presente pesquisa tem por finalidade a avaliação deste concreto com adição quimicamente ativa de sílica de casca de arroz.

2.5.7.1. Sílica de casca de arroz

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a sílica de casca de arroz é um material proveniente do processo de calcinação da casca do arroz, de forma alveolar e textura áspera. Sua massa específica fica entre 2200 a 2600 kg/m³ e sua superfície específica entre 50.000 a 100.000 m²/kg.

Figura 3 – Sílica de casca de arroz da empresa Pilecco



Fonte: Autoria Própria

Esta por sua vez, quando empregada em concretos, desempenha função referente a um material pozzolânico, ou seja, rico em sílica, capaz de gerar C-S-H (Silicato de Cálcio Hidratado) secundário a partir da reação com o hidróxido de cálcio.

De acordo com a ABNT (1992), pozolana é um material silicoso ou silicoaluminoso com pouca ou nenhuma atividade aglomerante. Porém, se finamente dividido e em contato com a água, reage com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente e forma compostos com propriedades cimentantes, similares aos produtos gerados na hidratação do cimento Portland.

A casca de arroz é composta de celulose (50%), lignina (30%) e Sílica (20%). Após o processo de queima, com a combustão gerada, permanece na composição do material apenas a sílica, que se apresenta em alta quantidade após este processo.

De acordo com (HOUSTON, 1972 apud PEDROZO, 2008), análises químicas realizadas em amostras de SCA demonstraram teores de sílica variando de 87% a 97% e os teores de álcalis de 1% a 3,57%, sendo que os álcalis, juntamente com o carbono, são as maiores impurezas encontradas no resíduo.

Mehta e Pitt (1997) explicam que se houver controle da temperatura na combustão da casca de arroz consegue-se obter sílica, em um estado amorfo (não cristalino) e microporoso, a qual é altamente reativa. A temperatura ideal para a queima da casca de arroz

é entre 500°C a 700°C, tendo-se o ideal como 600°C, uma vez que temperaturas superiores podem levar a cristalização da sílica, perdendo sua característica amorfa e consequentemente, diminuindo sua alta reatividade, não sendo ideal para empregar-se em concretos.

Ainda sim, Coutinho (2003) diz que quando a SCA, constituída por sílica não cristalina, é utilizada no concreto produz efeitos semelhantes ao da sílica ativa, porém, ao contrário desta, as partículas da SCA possuem estrutura celular (reflexo da estrutura da casca), o que é responsável pela elevada superfície específica do resíduo.

Quadro 4 – Efeito da adição de SCA no CAA

Estado Fresco	Estado Endurecido
Elevadíssimo aumento da coesão	Melhoria notável na resistência a compressão
Redução acentuada da exsudação	Melhoria notável na durabilidade
Redução acentuada da segregação	-
Piores condições de fluidez	-
Elevado consumo de superplastificantes	-

Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008)

Em termos de estado fresco, Kunz (2006) explica que a adição de SCA em pequenas quantidades (inferiores a 30%) gera no concreto maior trabalhabilidade e estabilidade, devido a sua elevada superfície específica e a forma das suas partículas, reduzindo a tendência a segregação e a exsudação do material. No entanto, a grande avidéz da SCA por água pode diminuir a trabalhabilidade do concreto se usada em grandes quantidades. Já para o estado endurecido, esta adição aumenta a resistência a compressão, pois densifica a matriz da pasta e da interface matriz-agregado uma vez que diminui a permeabilidade (fechamento dos vazios do concreto) e a um refinamento da estrutura dos poros, gerando maior durabilidade da estrutura.

2.6. Método de dosagem – Gomes, Gettu e Agulló

O método de dosagem desenvolvido por Gomes, Gettu e Agulló propõe que o CAA seja confeccionado em 3 etapas, de forma que seja feito de maneira experimental, entretanto, seguindo um passo a passo didático. Estas etapas envolvem:

1. Determinação da composição e volume da pasta;
2. Determinação do esqueleto granular;
3. Determinação da composição do CAA.

Diferentemente de outros métodos que envolvem o ajuste de um traço inicial desenvolvido para um concreto convencional, este desenvolve-se desde o começo como autoadensável, da concepção até o momento da concretagem.

De acordo com Gomes e Barros (2009) a metodologia proposta assume que este concreto pode ser obtido através da otimização feita pela composição da pasta e do esqueleto granular separadamente (Entende-se por esqueleto granular a porcentagem do traço correspondente pela soma dos agregados graúdo e miúdo).

2.6.1. Determinação da composição e volume da pasta

Gomes e Barros (2009) explicam que a composição da pasta é determinada através da quantidade de cimento e relações dos demais materiais da pasta, em função da massa do cimento.

Para o cálculo da composição da pasta, utiliza-se a Equação 1. Os dados que são lançados nesta equação dependem das propriedades que desejam-se obter para o concreto que está se dosando, como por exemplo, sua resistência no estado endurecido.

$$V_p = \frac{C}{\rho_c} + \frac{P_a}{\rho_a} + \frac{P_f}{\rho_f} + \frac{P_{sf}}{\rho_{sf}} + \frac{P_{spl}}{\rho_{sp}} - \frac{P_{asp}}{\rho_a} \quad \dots(1)$$

Sendo:

V_p = Volume de pasta;

C = Consumo de cimento inicial adotado de acordo com a resistência que se deseja;

ρ_c = Massa específica do cimento;

ρ_a = Massa específica da água;

ρ_f = Massa específica do fíler;

ρ_{sf} = Massa específica da pozolana;

ρ_{sp} = Massa específica do aditivo superplastificante;

T_{sp} = Teor de sólido do aditivo superplasfiticante;

a/c = Relação água/cimento;

f/c = Relação fíler/cimento;

sf/c = Relação pozolana/cimento;

sp/c = Relação superplastificante/cimento;

Tsp = Teor de sólidos contido no aditivo superplastificante;

Pa = Massa de água;

Pf = Massa de fíler;

Psf = Massa de pozolana;

Psp = Massa de aditivo superplastificante sólido;

Pspl = Massa de aditivo superplastificante líquido;

Pasp = Massa de água contida no aditivo superplastificante;

Pac = Massa de água corrigida.

$$Pa = \frac{a}{c} * C \quad \dots(2)$$

$$Pf = \frac{f}{c} * C \quad \dots(3)$$

$$Psf = \frac{sf}{c} * C \quad \dots(4)$$

$$Psp = \frac{sp}{c} * C \quad \dots(5)$$

$$Pspl = \frac{Psp}{Tsp/100} \quad \dots(6)$$

$$Pasp = Psp * \left[\frac{100}{Tsp} - 1 \right] \quad \dots(7)$$

$$Pac = Pa - Pasp \quad \dots(8)$$

Observa-se que a massa de água utilizada na composição do final do traço é utilizada subtraindo-se a porcentagem de água presente no aditivo superplastificante.

De acordo com Gomes e Barros (2009) o volume de pasta inicial é desenvolvido em função do volume necessário para o desenvolvimento dos ensaios. A relação a/c definida é utilizada e a quantidade de cimento é fixada com relação ao volume de pasta que se deseja. Já as relações de aditivo superplastificante/cimento(sp/c), fíler/cimento(f/c) e pozolana/cimento(sf/c) que são consideradas ideais para o CAA são definidas em ensaios específicos.

2.6.2. Determinação do esqueleto granular

Para que o CAA possa ser confeccionado da forma mais otimizada possível, necessita-se descobrir qual é o esqueleto granular ideal para os materiais utilizados. Entendendo-se como esqueleto granular a porcentagem do concreto correspondente pelos agregados graúdo e miúdo, pode-se medir experimentalmente que porcentagem de cada um destes materiais é ideal para a mistura.

Um esqueleto granular ideal é aquele que compreende brita e areia em tal proporção em que, apresenta-se com o menor teor de vazios. Quanto menor for o teor de vazios da mistura de agregados, menor será o volume de pasta utilizado e menor serão a retração e a porosidade que o concreto terá. Uma vez que o CAA utiliza mais volume de pasta do que o CCV, determinar esta propriedade pode ajudar muito.

Gomes e Barros (2009) dizem que para a realização do procedimento deve-se misturar manualmente os agregados graúdo e miúdo em uma bandeja e colocá-las em um recipiente de volume conhecido, e sem compactação, seguindo o procedimento do ensaio de massa unitária descrito pela NBR NM 45. O peso unitário de diversas combinações variando a relação percentual entre os agregados miúdo e graúdo é medida e usada para determinar o teor de vazios na mistura. O teor de vazios na mistura é determinado através da Equação 9.

$$v \% = \frac{\rho_{dm} - W_u}{\rho_{dm}} * 100 \quad \dots(9)$$

$$\rho_{dm} = [\rho_s * \frac{s}{a} \% + \rho_b * \frac{b}{a} \%] / 100$$

...(10)

$$W_u = \frac{W_t}{V_t}$$

...(11)

Sendo:

v (%) = Percentual do teor de vazios;

ρ_{dm} = Densidade da mistura seca;

W_u = Peso unitário da mistura;

ρ_s = Densidade seca da areia;

ρ_b = Densidade seca da brita;

s/a = Relação areia/agregados;

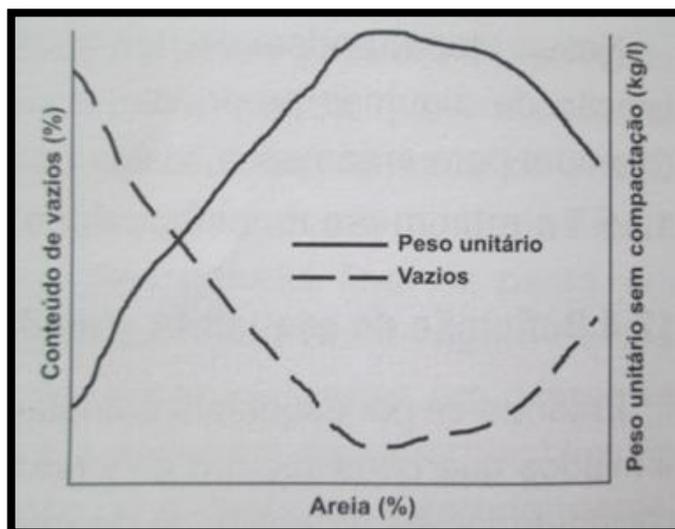
b/a = Relação brita/agregados;

W_t = Peso total da mistura;

V_t = Volume total da mistura.

Observa-se através da Figura 4 que para um peso unitário máximo, consegue-se um volume de vazios mínimo.

Figura 4 – Determinação do índice de vazios mínimo



Fonte: Gomes (2002)

2.6.3. Determinação da composição do CAA

Após as etapas de definição do volume da pasta, do esqueleto granular adequado e das relações entre sp/c , sf/c e f/c , o único parâmetro que falta para a determinação de um traço para o CAA é a definição do consumo ou massa de cimento corrigido que se necessita. O cálculo para este consumo baseia-se inicialmente para 1 metro cúbico de CAA. Calcula-se através da Equação 12.

$$C = \frac{V_p}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{a}{\rho_a} + \frac{f}{\rho_r} + \frac{sf}{\rho_{sf}} + \frac{\left[\frac{sp}{c} * \frac{100}{T_{sp}}\right]}{\rho_{sp}} - \frac{\left[\frac{sp}{c} * \left[\frac{100}{T_{sp}} - 1\right]\right]}{\rho_a}}$$

... (12)

Sendo:

C = Consumo corrigido de cimento;

V_p = Volume de pasta;

ρ_c = Massa específica do cimento;

ρ_a = Massa específica da água;

ρ_r = Massa específica do fíler;

ρ_{sf} = Massa específica da pozolana;

ρ_{sp} = Massa específica do aditivo superplastificante;

a/c = Relação água/cimento;

f/c = Relação fíler/cimento;

sf/c = Relação pozolana/cimento;

sp/c = Relação superplastificante/cimento;

T_{sp} = Teor de sólidos contido no aditivo superplastificante.

Gomes e Barros (2009) explicam que após a determinação do consumo de cimento corrigido, o único parâmetro ainda remanescente é definir o conteúdo de agregados por volume, de acordo com o volume de pasta. Para a obtenção deste parâmetro, ensaios com variação de volume de pasta são executados no CAA afim de realizarem-se testes específico e assim determinar-se se este concreto está autoadensável (se atende aos requisitos de fluidez, habilidade passante e resistência a segregação).

2.7. Ensaios propostos

Os ensaios propostos visam o estudo dos comportamentos reológico e físico do CAA tanto no estado fresco, quanto no endurecido. Com isto, pode-se definir a viabilidade desta pesquisa para a utilização de concretos autoadensáveis com adições minerais de sílica de casca de arroz no cotidiano do canteiro de obras.

Todos os ensaios que são propostos em concretos convencionais (CC) no estado endurecido (ensaios mecânicos) são realizados em concretos autoadensáveis, com exceção dos ensaios que são realizados no estado fresco, uma vez que o CAA exige fluidez e trabalhabilidade maiores do que o concreto convencional, sem que haja segregação, e é nesta etapa que ensaios diferenciados são exigidos.

2.7.1. CAA no estado fresco

Segundo Hoppe (2007) os ensaios realizados no CAA no estado fresco indicam não só de forma direta, mas também de forma indireta os parâmetros reológicos fundamentais do concreto. Dentre estes, pode-se citar a tensão de escoamento e a viscosidade aparente. Assim, definem o comportamento do concreto no estado fresco de tal forma a adequar suas características reológicas ao tipo de estrutura a qual se deseja construir.

Marangon (2006) explica que a reologia é a ciência da fluidez e deformação do material quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação mecânica, e deve ser uma ferramenta apropriada para descrever trabalhabilidade e mobilidade de materiais à base de cimento, como pastas de cimento, argamassas e concretos.

Diversos equipamentos específicos e ensaios foram desenvolvidos a fim de determinarem-se parâmetros de trabalhabilidade do concreto autoadensável no estado fresco. Estes visam estabelecer se as propriedades desejadas para a obtenção de um CAA são alcançadas. O Quadro 5 ilustra cada um dos ensaios e a ordem de importância da avaliação das propriedades desejadas conforme Peterssen (1999) apud Tutikian e Dal Molin, (2008).

Quadro 5 – Ordem de importância dos ensaios para CAA no estado fresco

Ensaio	Fluidez	Habilidade Passante	Resistência a Segregação
Slump Flow	AR	NR	PR
Slump Flow T50	AR	NR	PR
Funil V	R	NR	PR
Funil V 5 min	PR	NR	AR
Caixa L	NR	AR	R
U-Box	NR	AR	R
FilCaixa L	NR	R	R
U-Pipe	PR	NR	AR
Orimet	R	PR	PR
J-Ring	PR	AR	R

Fonte: Adaptado de Peterssen (1999) apud Tutikian e Dal Molin (2008)

AR = Altamente Recomendável

R = Recomendável

PR = Pouco Recomendável

NR = Não Relevante

Com base no Quadro 5, pode-se observar que alguns aparelhos são altamente recomendáveis para a medição de certas propriedades desejadas. Com isto, a pesquisa se realizará dividindo-se cada uma destas em grupos (fluidez, habilidade passante e resistência à segregação/coesão) e, por fim, apenas se realizará os ensaios considerados mais adequados para cada um destes grupos (AR).

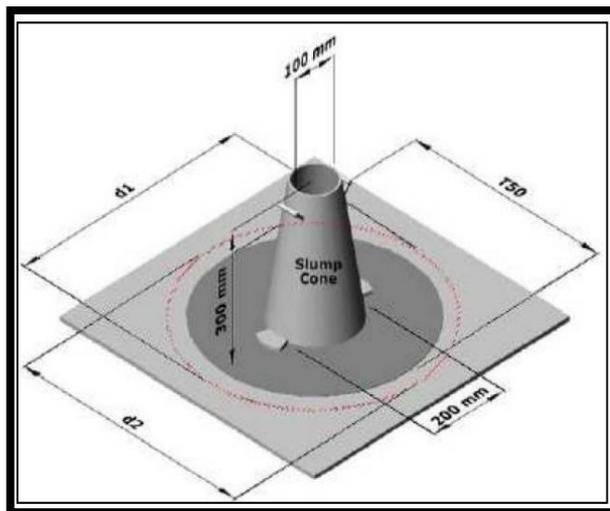
2.7.1.1. Fluidez

2.7.1.1.1. Slump Flow Test

O aparelho de slump flow test é usado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente através de uma placa, sem que segregue.

O procedimento é baseado no ensaio de “Slump Test” tradicional que é realizado em concretos convencionais, porém com algumas adaptações. Basicamente, medem-se os valores de diâmetro perpendiculares que este concreto atinge na mesa, e realiza-se a média destes valores, a fim de determinar se a fluidez está correta de acordo com os resultados base de outros autores. Caso o CAA venha a segregar, esta será facilmente visível.

Figura 5 – Aparelho de Slump Flow Test



Fonte: Cainelli (2009)

Valores de Slump Flow baixos revelam uma mistura muito coesa, o que necessitará de aumento no teor de aditivos superplastificante ou de ajustes no teor de argamassa e agregados. Já, valores de Slump Flow altos, indicam que o concreto está muito fluido, o que possivelmente gerará segregação, necessitando também de ajustes.

O resultado parâmetro definido pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010) estabelece um diâmetro de espalhamento médio situado entre 660 a 750 mm para a classe de espalhamento SF 2, que é considerado adequado para a maioria das aplicações correntes.

Figura 6 – Resultado Slump Flow Test



Fonte: Departamento de Engenharia da Universidade de Thapar, (2009)

2.7.1.1.2. Slump Flow T50 Test

O Slump Flow Test T 50 realiza-se basicamente da mesma forma que o Slump Flow Test original. Existem apenas algumas variações que ocorrem durante o procedimento. O que é alterado é que a fluidez é medida através do tempo em que o CAA leva para atingir uma certa marca, de 500 mm de diâmetro situada no centro da placa.

Valores de tempo acima ou abaixo do que indica a norma, revelam um concreto pouco ou muito fluido, necessitando de correções no traço. A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) expressa que o tempo de escoamento deste ensaio deve ser > 2 segundos, para classe de viscosidade plástica aparente sob fluxo livre VS2, que é indicada para a maioria das aplicações correntes.

Figura 7 – Resultado Slump Flow T 50 Test sem segregação



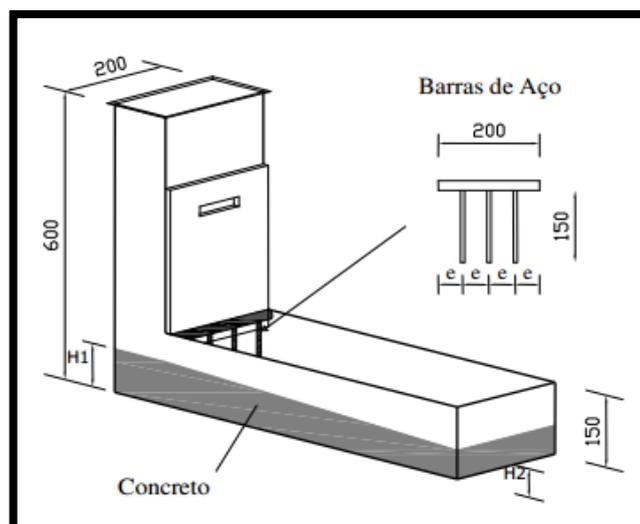
Fonte: Tutikian (2004)

2.7.1.2. Habilidade passante

2.7.1.2.1. Caixa L

O ensaio de Caixa L consiste em um aparelho em formato de L, basicamente uma caixa, que possui barras de aço na divisão entre a parte vertical e horizontal, e uma porta que serve para reter o concreto, apenas deixando-o passar no momento de testar-se sua habilidade passante.

Figura 8 – Medidas da Caixa L recomendada



Fonte: Alencar (2008)

Este teste simula a situação real no canteiro de obras, uma vez que as armaduras utilizadas durante o procedimento são de mesmo diâmetro das que serão utilizadas na construção. Alguns autores divergem ao fato de que estas barras deveriam possuir um diâmetro normatizado, com a finalidade de que não haja grande variação de resultados.

A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) estabelece que para classe de habilidade passante PL2 que é considerada adequada para a maioria das aplicações correntes, o valor médio de H_2/H_1 é de $\geq 0,80$ com três barras de aço de $\varnothing = 12,5$ mm.

Figura 9 – Teste Caixa L em andamento



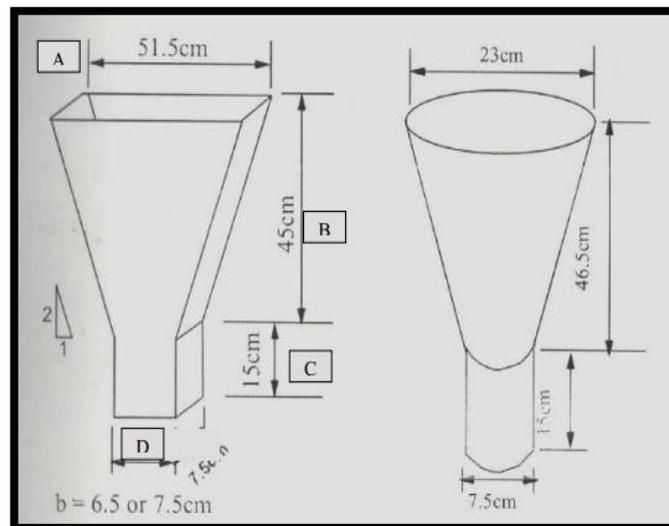
Fonte: Tutikian (2004)

2.7.1.3. Resistência a segregação (Coesão)

2.7.1.3.1. Funil V 5 Minutos

O ensaio de Funil V 5 Minutos indica de uma forma muito simples, porém eficaz, a coesão do CAA. Tutikian e Dal Molin (2008) explicam que o Funil V convencional foi desenvolvido no Japão por Ozawa com a finalidade de medir-se a fluidez do concreto. Contudo, a sua variação, o Funil V 5 min serve para comprovar a sua resistência à segregação de forma muito eficiente e facilitada.

Figura 10 – Aparelho de Funil V



Fonte: Gomes (2002)

Este consiste em preencher o funil com CAA, esperar 5 minutos e somente então, acionar a abertura do compartimento e verificar-se se este está sofrendo de segregação, uma vez pode-se confirmar isto observando o tempo de escoamento, que aumenta significativamente se comparado com os resultados do teste Funil V convencional.

A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) estabelece que o valor para este ensaio, na classe de viscosidade plástica aparente VF1, que é considerado adequado para a maioria das aplicações correntes, é de 9 a 25 segundos.

Figura 11 – Resultado Funil V Test



Fonte: Departamento de Engenharia da Universidade de Thapar, (2009)

2.7.2. CAA no estado endurecido

A análise do concreto autoadensável no estado endurecido é a mesma realizada em concretos convencionais. Os ensaios realizados permitem comprovar os efeitos mecânicos nos quais este material será submetido, incluindo principalmente a resistência que este suporta quando aplicados esforços de compressão e tração.

Basicamente, os principais fatores que podem levar a resultados insatisfatórios são os mesmos que verificam-se em concretos convencionais. Tutikian e Dal Molin (2008) explicam algumas consequências indesejadas que podem surgir no CAA:

- Fissuração por secagem e alto calor de hidratação quando for dosado com alto consumo de cimento;
- Pega inicial retardada se o teor de aditivo superplastificante for excessivo;
- Módulo de elasticidade baixo e alta probabilidade de retração plástica se for dosado com baixo consumo de agregado graúdo.

Para que manifestações patológicas resultante de maior índice de vazios e exsudação por má adensamento não ocorram, é essencial que o CAA esteja de acordo com os parâmetros exigidos nos ensaios realizados no estado fresco, que garantem a qualidade deste.

2.7.2.1. Ensaio de resistência à compressão axial

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a propriedade que os projetistas da área de concreto mais buscam é a resistência, para que haja um bom controle de qualidade. Embora o fator água/cimento seja de extrema importância para esta propriedade, algumas outras como adensamento e condições de cura (grau de hidratação do cimento) tem efeitos muito importantes para o resultado final do material.

Isaia (2005) explica que a resistência pode ser definida como a tensão última aplicada ao elemento que provoca a desagregação do material que o compõe, ou sendo a capacidade do material de suportar certas ações aplicadas, sem que este entre em colapso.

Este ensaio irá determinar através de um aparelho denominado de “prensa”, a capacidade de suporte ao esforço de compressão axial, obtido pelos corpos de prova cilíndricos de CAA, nos mais diversos traços e idades, em MPa (N/mm²). Este se realizará de acordo com os parâmetros estabelecidos pelas NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (ABNT, 2008) e NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. (ABNT, 2007)

Figura 12 – Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autoria Própria

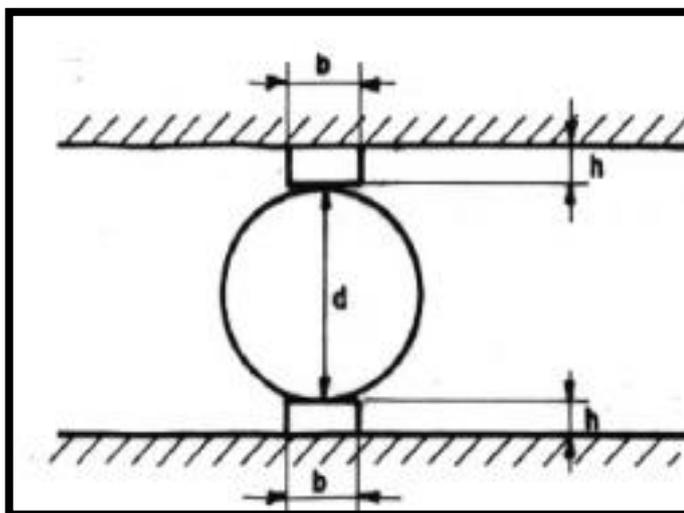
2.7.2.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Através deste ensaio, é possível determinar-se a resistência do CAA a tração, de forma indireta. Este segue as especificações contidas pela NBR 5738 (ABNT, 2008) – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova e NBR 7222 (ABNT, 1994) – Argamassa e Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

Mehta e Monteiro (1994) explicam que ensaios de tração direta do concreto são utilizados apenas em situações muito raras, pois os dispositivos de fixação do corpo de prova introduzem tensões secundárias difíceis de mensurar e que não podem ser ignoradas. Assim, esse método é considerado muito eficaz para a obtenção dos valores de tração em concretos.

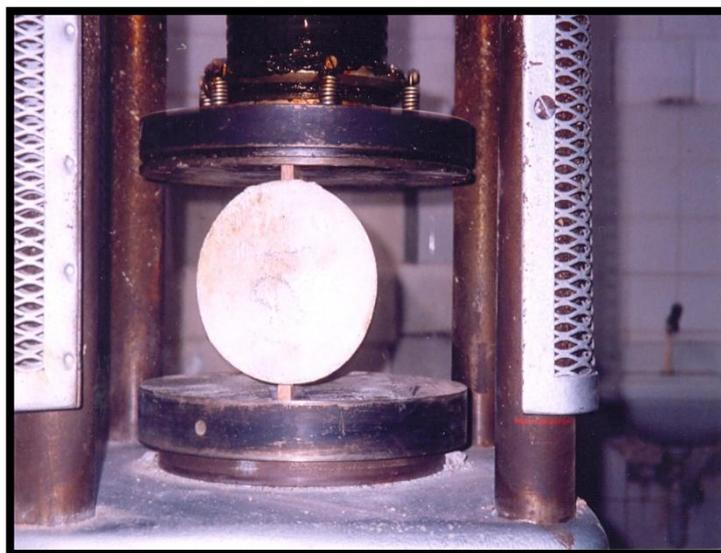
As figuras 13 e 14 ilustram tanto o mecanismo no qual este ensaio funciona quanto o próprio em fase de execução.

Figura 13 – Mecanismo de funcionamento do ensaio



Fonte: NBR 7222 (1994)

Figura 14 – Ensaio de resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Milton Filho (2008)

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Os procedimentos experimentais e materiais adotados nesta pesquisa são descritos neste capítulo.

3.1. Ensaios de caracterização dos materiais

3.1.1. Areia

O agregado miúdo que foi utilizado nesta pesquisa provém da jazida do leito do rio Ibicuí, localizado na cidade de Manoel Viana (RS). A fim de analisar as propriedades deste material, optou-se pela realização de ensaios de caracterização que serão descritos a seguir.

3.1.1.1. Massa Específica

A massa específica da areia foi obtida de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987) onde se procedeu pesando 500 gramas de material seco. Em seguida, completou-se o frasco de Chapman com água até a marca de 200 cm³ e então, colocou-se a areia dentro do frasco e agitou-a para que fossem removidas as bolhas de ar. Depois, visualizou-se a marca final em cm³ que a água ocupou no frasco de acordo com o conjunto água + areia. Este número indicou o volume deslocado. Em seguida repetiu-se o ensaio, com outra amostra, e então, determinou-se a massa específica através da média das amostras, com o uso da Equação 13

$$\gamma = \frac{500}{L - 20} \quad \dots(13)$$

Onde:

L = Leitura do frasco de Chapman (cm³);

γ = Massa específica do agregado miúdo (g/cm³)

O ensaio de massa específica realizado indicou um valor médio de L = 390 cm³, e conseqüentemente, de acordo com a Equação 1, o valor obtido para a massa específica desta areia foi de $\gamma = 2,631 \text{ g/cm}^3$.

Figura 15 – Frasco de Chapman para o ensaio de massa específica



Fonte: Autoria Própria

3.1.1.2. Massa Unitária

Para o ensaio de massa unitária seguiu-se o procedimento indicado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). Optou-se pela utilização do procedimento pelo Método C, usado para material seco e solto. Consistiu em pesar a massa de um recipiente vazio, e em seguida, com o uso de uma pá despejar o agregado dentro deste a uma altura máxima de 5 cm com relação a borda superior do recipiente. Quando este transbordou, nivelou-se a borda com régua metálica e então, pesou-se o conjunto recipiente + agregado e determinou-se sua massa. Repetiu-se este procedimento 3 vezes e retirou-se uma média. Em seguida, utilizou-se a Equação 14 para a determinação do resultado da massa unitária.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \dots(14)$$

Onde:

m_{ar} = Massa do recipiente+agregado (g);

m_r = Massa do recipiente (g);

V = Volume do recipiente (cm^3);

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado miúdo (g/cm^3).

O ensaio de massa unitária apresentou valores de $(m_{ar} - m_r) = 12060$ g e $V = 7560$ cm³. Aplicando estes valores na Equação 2, obteve-se um valor de massa unitária equivalente a $\rho_{ap} = 1,59$ g/cm³.

Figura 16 – Recipiente para ensaio de massa unitária da areia



Fonte: Autoria Própria

3.1.1.3. Granulometria

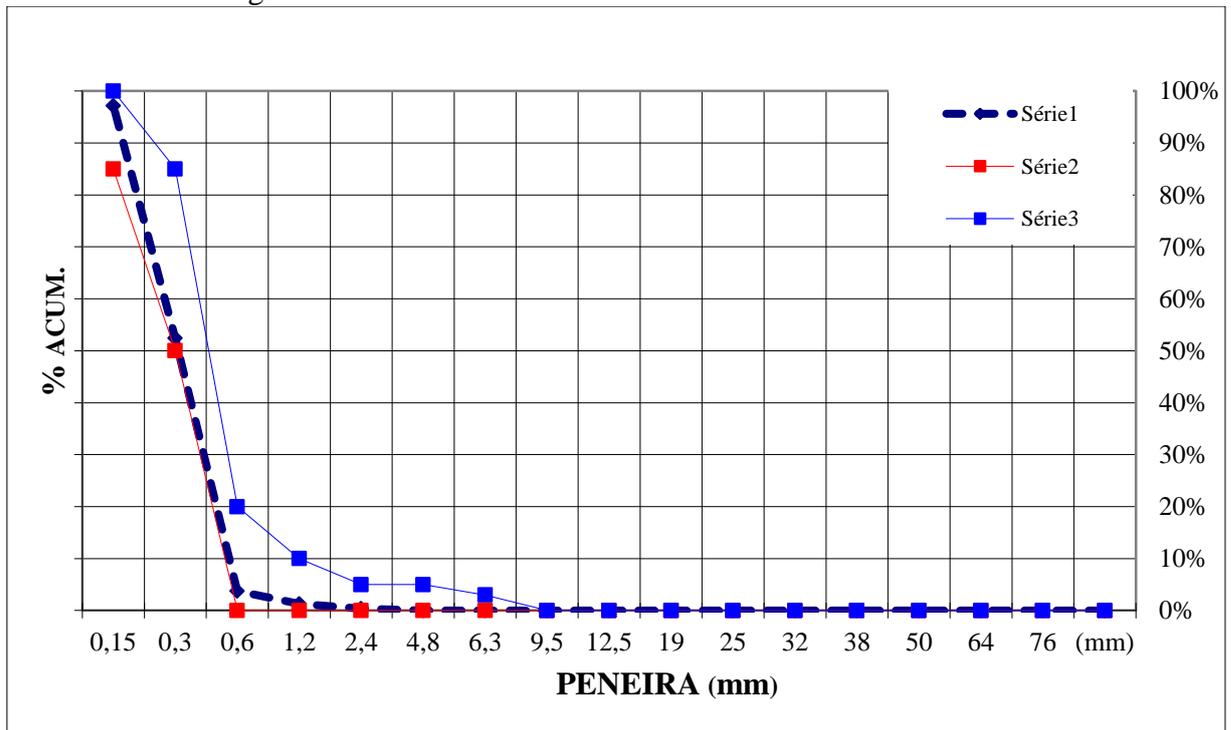
A determinação da granulometria do agregado miúdo desta pesquisa procedeu de acordo com as especificações da norma brasileira regulamentadora NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para sua execução, pesou-se 500 gramas de material seco. Em seguida, colocou-se o material nas peneiras da série normal em (9,52 mm; 4,75 mm; 2,4 mm; 1,18 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e 0,15 mm) e intermediária que (6,35 mm) e numeradas em uma ordem crescente de baixo para cima. Colocou-se a tampa e então, agitou-se manualmente por cerca de 1 minuto. Em seguida, pesou-se a massa retida em cada peneira e calculou-se a porcentagem retida e acumulada. O ensaio foi repetido com uma nova amostra e então fez-se a média entre os dois resultados. Para o cálculo do módulo de finura foi realizado o somatório das porcentagens retidas acumuladas em todas as peneiras da série normal e então, dividiu-se este valor por 100. O ensaio de granulometria realizado para as peneiras da série normal e intermediária apresentaram os valores que estão na Tabela 2. A partir destes, pôde-se definir a curva granulométrica deste agregado mostrado no Gráfico 1 e obter o módulo de finura de 1,55.

Tabela 2 – Granulometria da areia

Abertura da Peneira (mm)	% Retida (g)	% Acumulada
9,52	0	0
6,35	0	0
4,75	0	0
2,4	1,8	0,36
1,18	4,6	1,28
0,6	12,45	3,77
0,3	243,7	52,51
0,15	223,7	97,25
Fundo	13,75	100

Fonte: Autoria própria

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da areia



Fonte: Autoria Própria

3.1.1.4. Absorção de Água

O ensaio de absorção de água da areia seguiu o procedimento da NBR NM 30 (ABNT, 2001), onde pesou-se uma amostra de 1 kg de material seco. Em seguida, emergiu-se a amostra em água por 24 horas e então, colocou-se esta em local seco, plano e com uma leve corrente de ar quente, revolvendo-a até que esta estivesse em uma condição onde os grãos não conseguissem aderir facilmente. Em seguida colocou-se a amostra em um cone e aplicou-se 25 golpes com a haste de compactação. Depois, levantou-se este cone e visualizou-se se o material estava em uma condição onde não ficasse no formato do molde. Revolveu-se a amostra até que esta estivesse na condição adequada. Repetiu-se o ensaio com outra amostra e então determinou-se a absorção de água através da Equação 15:

$$A = \frac{ms - m}{m} * 100 \quad \dots(15)$$

Onde:

ms = Massa da amostra na condição saturada de superfície seca (g);

m = Massa da amostra seca em estufa (g);

A = Absorção de água (%)

Após a realização do ensaio, obteve-se valores de $m_s = 456$ g, $m = 453,3$ g e consequentemente de acordo com a Equação 3, a absorção de água deste agregado foi igual a **A = 0,6 %**.

Figura 18 – Amostra de areia após ensaio de absorção de água



Fonte: Autoria Própria

3.1.2. Brita

O agregado graúdo utilizado nos ensaios deste trabalho de conclusão de curso é proveniente da britadeira Pedra Rosada situada na cidade de Alegrete (RS). Optou-se pela utilização de brita 0 ou pedrisco (diâmetro máximo de 12,5 mm), pois com este agregado, a probabilidade do CAA segregar é bem menor. A obtenção das propriedades deste estão descritos a seguir nos ensaios de caracterização.

3.1.2.1. Massa Específica

Para o cálculo da massa específica do agregado graúdo, seguiu-se o procedimento descrito através da NBR NM 53 (ABNT, 2002), que consistiu em coletar uma amostra de agregado graúdo adequada de acordo com a NBR NM 26 (ABNT, 2009), submergi-lo em água por 24 horas, e após este período, retirá-lo da água e envolve-lo em um pano absorvente até que sua água visível estivesse completamente eliminada. Depois, pesou-se a amostra e colocou-a em um recipiente submerso em água, pesando novamente. Depois, secou-se a

amostra em estufa por 24 horas, esfriou-se esta e então pesou-se. Para a obtenção do valor da massa específica, utilizou-se a Equação 16.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} * 100$$

...(16)

Onde:

m = Massa ao ar da amostra seca (g);

m_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada de superfície seca (g);

m_a = Massa em água da amostra (g);

d = Massa específica do agregado graúdo (g/cm³).

Para este procedimento, obteve-se valores de m = 1967,6 g, m_s = 2014,8 g e m_a = 1556,13 g, o que indicou um valor de massa específica de **d = 2,85 g/cm³**.

Figura 19 – Aparelho para o ensaio de massa específica da brita



Fonte: Autoria Própria

3.1.2.2. Massa Unitária

Para a determinação da massa unitária do agregado graúdo seguiu-se o mesmo procedimento do agregado miúdo descrito no item 3.1.1.2.

Os valores obtidos foram de $(m_{ar} - m_r) = 10320 \text{ g}$ e $V = 7560 \text{ cm}^3$, e dessa forma, de acordo com a Equação 5, um valor de massa específica de $\rho_{ap} = 1,375 \text{ g/cm}^3$.

Figura 20 – Pesagem da brita para ensaio de massa unitária



Fonte: Autoria Própria

3.1.2.3. Granulometria

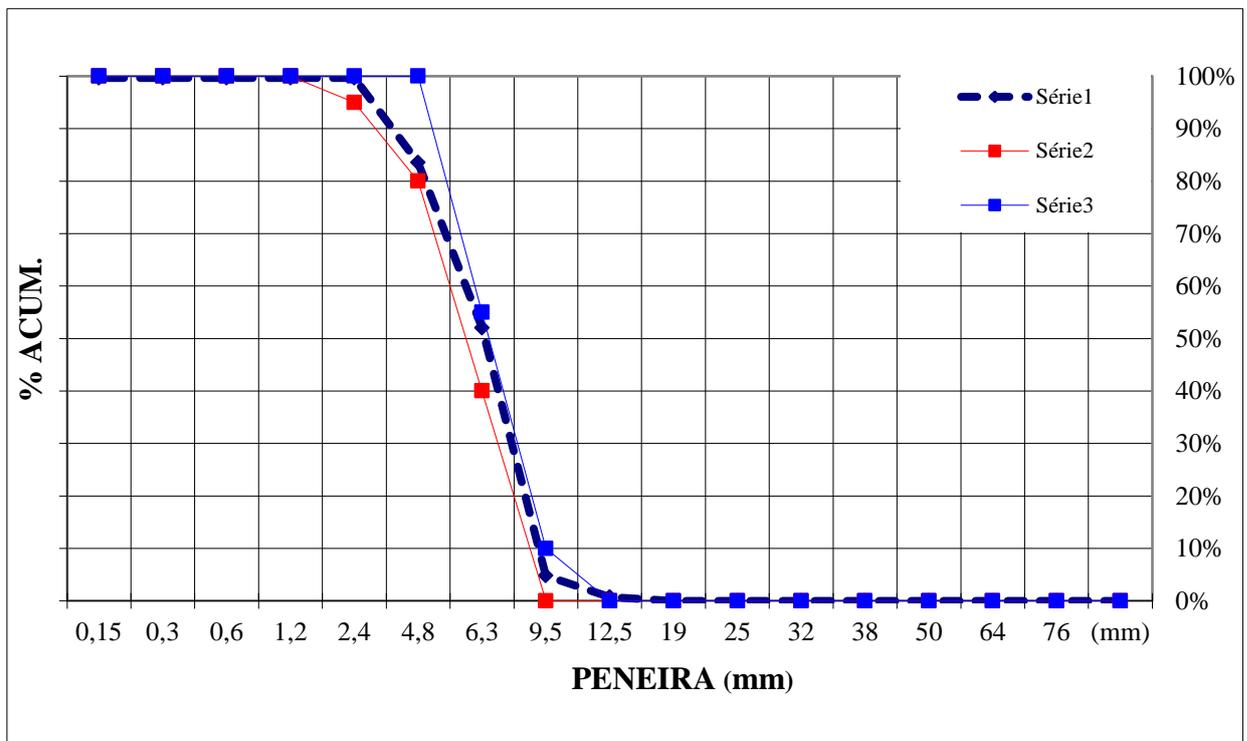
Para a determinação da granulometria do agregado graúdo, utiliza-se a mesma norma que no ensaio do agregado miúdo, ou seja, NBR NM 248 (ABNT, 2003), descrito no item 3.1.1.3, porém, o peso da amostra fora de 1 kg. Realizou-se o ensaio de granulometria nas peneiras da série normal e intermediária, e obteve-se os resultados apresentados na Tabela 3, e a curva granulométrica que está definida no Gráfico 2 .

Tabela 3 – Granulometria da brita

Abertura da Peneira (mm)	% Retida (g)	% Acumulada (%)
12,7	7,5	0,75
9,52	40,4	4,79
6,35	472,8	52,07
4,75	315	83,57
2,4	161,2	99,69
1,18	0	0
0,6	0	0
0,3	0	0
0,15	0	0
Fundo	3,1	100

Fonte: Autoria própria

Gráfico 2 – Curva granulométrica da brita



Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria da brita



Fonte: Autoria Própria

3.1.3. Absorção de Água

O ensaio de absorção de água do agregado graúdo é realizado juntamente com o ensaio de massa específica descrito no item 3.1.2.1. Segue-se o procedimento da NBR NM 53 (ABNT,2002), em que solicita-se que utiliza-se os valores obtidos de m_s e m do ensaio de massa específica, obtendo-se a porcentagem de absorção de água através da Equação 18.

$$A = \frac{m_s - m}{m} * 100 \quad \dots(18)$$

Onde:

m = Massa ao ar da amostra seca (g);

m_s = Massa ao ar da amostra na condição saturada de superfície seca (g);

A = Absorção de água do agregado graúdo (%)

O ensaio de absorção de água indicou valores de $m_s = 2014,8$ g e $m = 1967,6$ g, que substituindo na Equação 18 indicou um valor de absorção de água de $A = 2,4$ %.

Figura 22 – Pesagem de amostra de brita para ensaio de absorção de água



Fonte: Autoria Própria

3.1.3. Cimento Portland

O cimento escolhido para a dosagem desta pesquisa foi o cimento Votoran CPIV-32 da empresa Votorantim que é encontrado na região sul do país. Este cimento apresenta adições pozolânicas na sua composição, principalmente a sílica volante.

O procedimento seguiu o que a indicação da NBR NM 23, e consistiu em encher um frasco de Le Chatelier com um auxílio de um funil que contenha haste longa, com querosene até as marcas de 0 a 1 cm³. Em seguida, secou-se o interior do frasco até o nível do líquido e colocou-se o frasco em um banho de água a temperatura de 20°C por 30 minutos. Registrou-se então a primeira leitura de V1 com aproximação de 0,1 cm³. Após, pesou-se uma massa de material com uma aproximação de 0,01 g, cerca de 60g, que deslocasse o líquido entre as marcas de 18 cm³ até 24 cm³ no frasco e então introduziu-se com um funil de haste curta pequenas porções do material e cuidou-se para que este não viesse a aderir nas paredes do frasco. Tampou-se o frasco e girou-o de forma inclinada e em círculos horizontais até que não se percebesse borbulhas de ar subindo para a superfície do líquido. Em seguida, registrou-se V2 e calculou-se o valor da massa específica através da Equação 19:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

...(19)

Onde:

ρ = Massa específica do material (g);

m = Massa do material ensaiado (g);

V = Volume deslocado pela massa de material, determinado por $V_2 - V_1$ (cm³);

No procedimento para a determinação da massa específica do cimento obtiveram-se valores de $m = 60$ g e $(V_2 - V_1) = 21,1$ g, que introduzidos na Equação 19 gerou uma massa específica equivalente a $\rho = 2,84$ g/cm³.

Figura 23 – Ensaio de massa específica do cimento



Fonte: Autoria própria

3.1.4. Sílica de casca de arroz

A sílica de casca de arroz utilizada nesta pesquisa foi fornecida pela empresa Pilleco Nobre da cidade de Alegrete (RS). Com base nos ensaios de caracterização realizados por RIGHI (2012), a massa específica determinada para esta sílica foi de $\rho = 2,03$ g/cm³.

Figura 24 – Sílica de casca de arroz da empresa Pilecco Nobre



Fonte: Autoria própria

3.1.5. Aditivo superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado na realização deste trabalho foi o aditivo ADVA CAST 525 a base de policarboxilatos, doado pela empresa Grace Construction Products. Para o conhecimento do teor de sólidos presente do aditivo, utilizou-se o ensaio de determinação do teor de sólidos contido na NBR 10908:2008.

O ensaio procedeu pesando-se 10g de amostra com aproximação de 0,0001 g. Depois, secou-se este material por 8 horas em uma amostra de areia dentro de um recipiente metálico e então, retirou-se da estufa para resfriar, e voltou-se com a amostra na estufa por mais 2 horas e então pesando-a. Seguiu-se o processo até que a amostra indicasse uma massa constante com aproximação de 0,1 g em 3 tentativas. Verificou-se a diferença de massa que ocorreu nesta. Através da Equação 20 determinou-se a porcentagem de sólidos presente no aditivo:

$$r = \frac{m2}{m1} * 100 \quad \dots(20)$$

Onde:

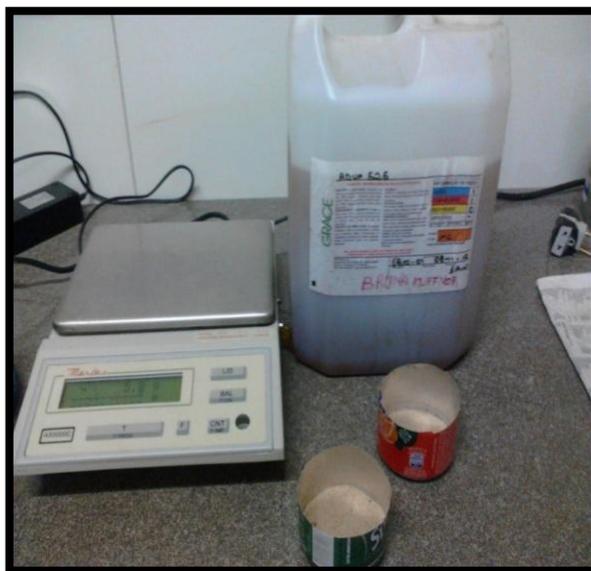
r = Porcentagem de sólidos no material (%);

m2 = Massa final do material (g);

m_1 = Massa inicial do material (g);

De acordo com o fabricante, a massa específica deste produto é de $\rho = 1,06 \text{ g/cm}^3$. O ensaio de teor de sólidos presente no aditivo superplastificante indicou valores de $m_2 = 30,88 \text{ g}$ e $m_1 = 40 \text{ g}$, e conseqüentemente de acordo com a Equação 8, uma porcentagem de sólidos de $r = 22,8\%$

Figura 25 – Materiais utilizados no ensaio de teor de sólidos no aditivo superplastificante



Fonte: Autoria própria

3.2. Definição do Esqueleto Granular

Para que se pudesse verificar a proporção ideal entre agregado miúdo e graúdo que seria utilizada na obtenção do traço do CAA, ou seja, seu esqueleto granular, testou-se as seguintes porcentagens de materiais descritas pela Tabela 3, até que fosse possível obter um peso unitário máximo, o que vem a indicar um teor de vazios mínimo.

Tabela 4 – Proporções testadas para obtenção do esqueleto granular

Misturas	% Areia	% Brita
1	35	65
2	40	60
3	45	55
4	50	50
5	55	45
6	60	40
7	65	35

Fonte: Autoria Própria

Pesou-se uma amostra de 15 kg, nas proporções desejadas em cada umas das 7 misturas, e colocou-as em uma betoneira durante 1 minuto, afim de ter uma homogeneização ideal entre os agregados. De acordo com Gomes e Barros (2009), devem-se juntar estas proporções manualmente em uma bandeja, porém, na betoneira obtêm-se resultados muito mais satisfatórios.

Figura 26 – Betoneira utilizada para a determinação do esqueleto granular



Fonte: Autoria Própria

Depois da retirada do material da betoneira, procedeu-se com o ensaio de massa unitária, despejando cada mistura com uma pá em um recipiente de volume conhecido de uma altura máxima de 5 cm da borda, colocado dentro de uma bandeja e em seguida, nivelando

sua borda com régua metálica, levando o recipiente até a pesagem na balança. Dessa forma, pôde-se determinar o peso unitário de cada mistura.

Figura 27 – Ensaio de massa unitária para obtenção do peso unitário



Fonte: Autoria Própria

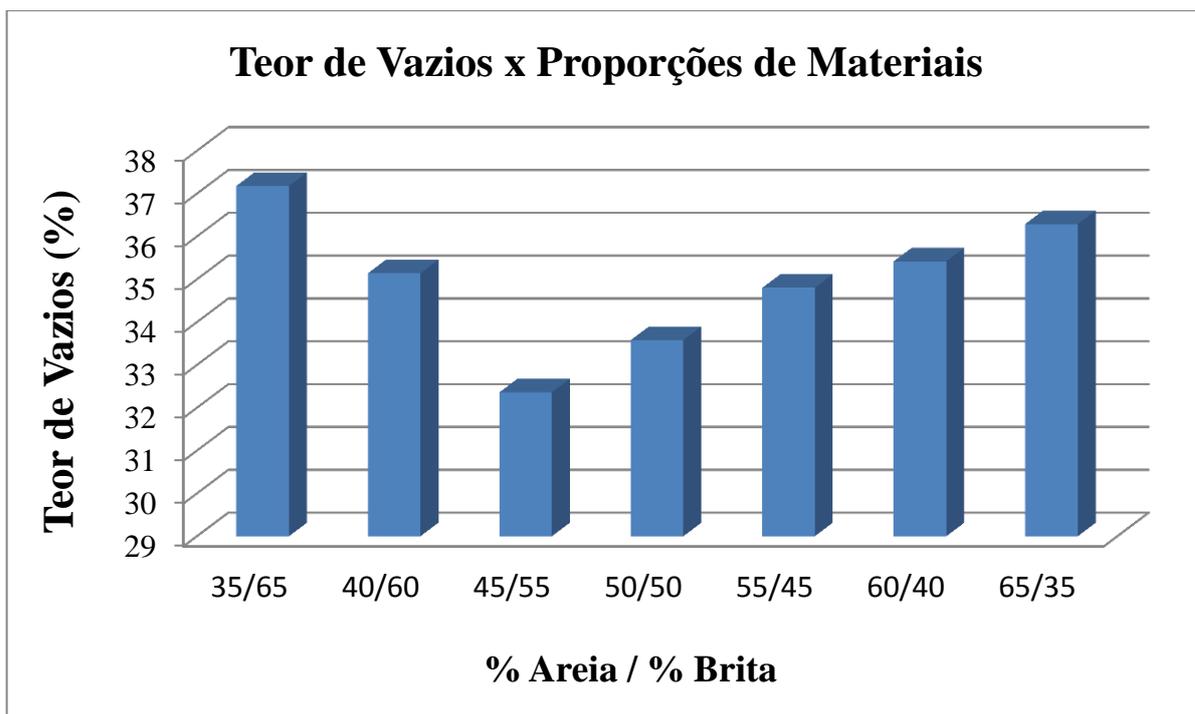
De acordo com a Tabela 5, percebe-se que o peso unitário máximo encontra-se na **Mistura 3**, com proporções de 43,57% de areia e 53,57% de brita, que se, aplicados nas Equações 9, indicam um teor de vazios de $v (\%) = 32,36\%$. O Gráfico 3 exemplifica o teor de vazios encontrado para todas as proporções testadas.

Tabela 5 – Proporções testadas para obtenção do esqueleto granular

Variável	Unidade	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6	Mistura 7
ρ_s	Kg/dm ³	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631	2,631
ρ_b	Kg/dm ³	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
s/a	%	35	40	45	50	55	60	65
b/a	%	65	60	55	50	45	40	35
wt	Kg	13,16	13,58	14,04	13,75	13,43	13,24	13,03
vt	dm ³	7,56	7,56	7,56	7,56	7,56	7,56	7,56
wu	Kg/dm ³	1,74	1,79	1,86	1,82	1,78	1,75	1,72
ρ_{adm}	-	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,71	2,7
v (%)	%	37,18	35,14	32,36	33,58	34,08	35,42	36,29

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 3 – Teor de vazios e proporção dos materiais



Fonte: Autoria Própria

3.3. Ensaios Propostos

3.3.1. Estado Fresco

3.3.1.1. Slump Flow Test

O ensaio de Slump Flow Test é utilizado para a medição da fluidez ideal do CAA, sendo possível avaliar isto através de 2 medidas perpendiculares do espalhamento do concreto sobre uma chapa.

Este ensaio segue as especificações da norma brasileira NBR 15823-2 (ABNT, 2010), e necessita da seguinte aparelhagem para sua execução:

- Um tronco de cone impermeável e sem atrito de 300 mm de altura, diâmetro interno de 100 mm e diâmetro externo de 200 mm;
- Uma placa de base metálica quadrada de 900 mm de base e 1,5 mm de espessura;
- Uma régua metálica;
- Uma trena;
- Um recipiente de capacidade de 10 litros;

- Um complemento tronco-cônico adaptável de metal;
- Uma colher de pedreiro;
- Um cronômetro.

Para a execução deste, seguem as seguintes etapas descritas pela NBR 15823-2 (ABNT, 2010):

1. Marca-se no centro da base um círculo de 200 mm de diâmetro para a colocação do cone;
2. Umedecer a placa e o tronco de cone;
3. Colocar a placa em uma superfície firme e nivelado;
4. Colocar o tronco de cone na marcação de diâmetro de 200 mm e segurar firmemente;
5. Com a concha de pedreiro, preencher o cone e remover com a régua o excesso do topo;
6. Não adensar, pois o CAA deve adensar-se sozinho pela ação da gravidade;
7. Remover excessos da placa;
8. Levantar o cone verticalmente;
9. Permitir que o concreto flua livremente;
10. Medir o diâmetro do espalhamento em duas direções perpendiculares;
11. Fazer a média destas medidas, o que irá gerar o resultado do teste.

Figura 28 – Equipamento de Slump Flow Test



Fonte: Autoria Própria

3.3.1.2. Slump Flow T50 Test

No ensaio de Slump Flow T50 Test, assim como no ensaio de Slump Flow Test convencional, é possível medir o espalhamento do concreto autoadensável sobre uma chapa. Porém, neste procedimento, não são medidos os diâmetros perpendiculares de espalhamento, mas sim, o tempo que o concreto leva para fluir até uma marca de $D = 500$ mm na placa, sendo possível avaliar se este está muito ou pouco fluido.

Os materiais necessários para a execução do ensaio são os mesmos descritos no ensaio de Slump Flow Test, acrescidos de um cronômetro.

A execução deste segue basicamente da mesma forma que o ensaio de Slump Flow Test descrito anteriormente. A diferença, é que no Slump Flow Test T 50 faz-se uma marcação na placa de base com diâmetro de 500 mm e quando levanta-se o cone de Abrams, cronometra-se o tempo que demora para o CAA atingir esta marca.

3.3.1.3. Caixa L

O ensaio de Caixa L permite determinar a habilidade que o CAA tem de passar por obstáculos, neste caso, entre as 3 armaduras de $\varnothing = 12,5$ mm que estão posicionadas na caixa. Após a abertura da comporta, as medidas final e inicial da altura do concreto na caixa (parte superior e inferior) determina então uma relação de alturas $H2/H1$ na qual deve estar de acordo com os padrões de norma brasileiros, para que haja habilidade passante.

Os materiais necessários para a sua execução seguem de acordo com a NBR 15823-4 (ABNT, 2010):

- Uma caixa em formato de L feita de um material impermeável e sem atrito com as seguintes medidas:
- Uma concha de pedreiro;
- Uma régua metálica;
- Uma trena;
- Um recipiente;

Para a realização do procedimento, seguem-se as etapas descritas na NBR 15823-4 (ABNT, 2010):

1. Fixar a caixa em L em uma superfície firme e nivelada;

2. Umedecer as paredes do equipamento;
3. Testar a porta da caixa para garantir sua eficiência;
4. Preencher a parte vertical da caixa com CAA com o portão fechado;
5. Esperar 1 minuto para o material se acomodar;
6. Depois de 1 minuto, levantar o comporta;
7. Esperar o concreto escoar pela caixa.
8. Medir a altura inicial (H1) e final (H2);
9. Fazer uma média entre $H2 / H1$.

O aparelho necessário foi confeccionado em chapas de madeira compensada e pintadas com tinta para madeira impermeável, seguindo as especificações da norma NBR 15823-4 (ABNT, 2010) uma vez que o laboratório de construção civil da UNIPAMPA Campus Alegrete não possui a aparelhagem necessária para a realização deste ensaio. A Figura 28 ilustra a Caixa L que foi construída.

Figura 29 – Equipamento de Caixa L confeccionado



Fonte: Autoria Própria

3.3.1.4. Funil V 5 Minutos

O procedimento do Funil V 5 Minutos permite avaliar a resistência a segregação do CAA introduzindo-se o concreto dentro do aparelho (funil) e deixando este escoar, medindo-se o tempo de escoamento. Repete-se então o ensaio, porém deixa-se o concreto dentro do funil por 5 minutos e após este tempo abre-se a porta para o CAA escoar. Se na repetição do ensaio houver uma diferença muito grande do tempo que o CAA levou para escoar pelo funil se comparado com a primeira medição, indica-se então segregação dos materiais, uma vez que o agregado graúdo obstrui a passagem na parte inferior do funil.

Os equipamentos necessários para a sua execução deste ensaio são descritos pela NBR 15823-5 (ABNT, 2010):

- Um funil de dimensões expressas na figura abaixo (podendo ser arredondado ou retangular);
- Um recipiente metálico;
- Uma concha metálica;
- Uma colher de pedreiro;
- Um cronômetro;
- 12 litros de concreto.

A execução do ensaio segue o procedimento descrito na NBR 15823-5 (ABNT, 2010):

1. Colocar o funil em um suporte nivelado;
2. Umedecer o aparelho;
3. Com a concha, preencher o funil e remover com a espátula o excesso do topo;
4. Não adensar, pois o CAA deve adensar-se sozinho pela ação da gravidade;
5. Esperar 30 segundos;
6. Abrir a porta do aparelho;
7. Acionar o cronômetro;
8. Registrar o tempo que o funil leva para esvaziar;
9. Fechar a comporta e encher o funil novamente (não há necessidade de limpar o mesmo);
10. Esperar 5 minutos;
11. Abrir a comporta;
12. Registrar o intervalo de tempo para o escoamento total da massa de concreto.

O Funil V necessário para o procedimento foi também, assim como a Caixa L, confeccionado em chapas de madeira compensada e pintadas com tinta para madeira impermeável, seguindo as especificações da norma NBR 15823-5 (ABNT, 2010), pois o laboratório de construção civil da UNIPAMPA Campus Alegrete não possui este aparelho para a realização deste ensaio. O Funil descrito acima está ilustrado na Figura 29.

Figura 30 – Equipamento de Funil V confeccionado



Fonte: Autorial Própria

3.3.2. Estado Endurecido

3.3.2.1. Ensaio de Resistência à Compressão Axial

O procedimento para a realização do ensaio seguiu de acordo com o que está proposto pela NBR 5738 (ABNT, 2008) – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos:

1. Moldagem de 8 corpos-de-prova para cada concretagem, de molde com $D = 100$ mm, untados com óleo vegetal (Romper 4 CP's aos 7 dias e 4 CP's aos 28 dias, fazendo a média da ruptura);
2. Cura submersa em água com cal após 24 horas de desforma;
3. Capear os corpos-de-prova com argamassa 24 horas antes de sua ruptura;

4. Submetê-los a prensa hidráulica até que atinja a ruptura em determinada velocidade de carregamento de compressão.

3.3.2.2. Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral é possível determinar a resistência à tração do concreto de forma indireta, através da aplicação de uma carga de compressão diametral no corpo de prova por uma prensa.

Este procedimento segue os parâmetros descritos pela NBR 7222 (ABNT, 1994) – Argamassa e Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

1. Proceder com a Moldagem de 8 corpos-de-prova para cada concretagem, de molde com $D = 100$ mm, untados com óleo vegetal (Romper 4 CP's aos 7 dias e 4 CP's aos 28 dias, fazendo a média da ruptura);
2. Em seguida, curar os CP's submergidos em água com cal após 24 horas de desforma;
3. Colocar os corpos-de-prova na prensa, e entre ele e os pratos da máquina, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira conforme as especificações da NBR 10024 (2012);
4. Aplicar uma velocidade de carregamento de tração constante, até que atinja a ruptura.

A Equação define a resistência à tração por compressão diametral.

$$F_{t,D} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L}$$

Onde:

$F_{t,D}$ = Resistência a tração por compressão diametral (MPa);

F = Carga máxima obtida no ensaio (KN);

d = Diâmetro do corpo de prova (mm);

L = Altura do corpo de prova (mm).

3.4. Determinação do Traço

Para a determinação de um traço ideal para o CAA, optou-se por uma dosagem experimental do teor de aditivo superplastificante, dos agregados e do consumo de cimento, porém, seguindo as especificações descritas por Gomes, Gettu e Agulló

Usualmente utilizam-se ensaios com o Cone de Marsh e o Mini-Slump para encontrar a dosagem ideal de aditivo superplastificante na pasta, ou seja, são ensaios do ponto de saturação do aditivo (porcentagem ótima). Porém, como o laboratório de construção civil da UNIPAMPA Campus Alegrete não possuía tal aparelhagem, optou-se por testar o teor de aditivo ideal com sucessivas concretagens, refinando o traço, até que o concreto estivesse dentro dos padrões das normas brasileiras de CAA.

Para isso, os seguintes parâmetros foram seguidos para a obtenção de um concreto de forma mais regular e padronizada possível:

- Temperatura da água de amassamento controlada de 19 ± 2 °C (Equação de Neville);
- Agregados miúdo e graúdo previamente lavados com água corrente e secos em estufa durante 24 horas à temperatura de 105°C;
- Colocação dos materiais na betoneira obedecendo a seguinte ordem: Água de imprimação da betoneira ► Agregado graúdo (100%) ► Água de amassamento (80%) ► Cimento (100%) + SCA (100%) ► Aditivo superplastificante (80%) ► Agregado miúdo (100%) ► Restante da água + aditivo;
- Processamento dos materiais na betoneira durante em média 10 minutos.

3.4.1. Traço 1

3.4.1.1. Volume de Pasta e Consumo de cimento

Para a obtenção do volume de pasta necessário para o primeiro traço, definiram-se os seguintes parâmetros iniciais indicados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros iniciais para o Traço 1

Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Relação Superplastificante/Cimento	Relação Pozolana/Cimento
C	a/c	sp/c	sf/c
400 Kg/m ³	0,4	1%	3,57%

Fonte: Autoria Própria

Desta forma, procedendo com estes valores e os obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais, pôde-se verificar o volume de pasta necessário através da Equação 1, e o consumo de cimento corrigido através da Equação 12.

$$V_p = 0,312 \text{ m}^3 \text{ e } C = 445,51 \text{ Kg/m}^3$$

Assim, com o volume de pasta, pôde-se calcular o traço adequado. Para uma dosagem de 1m², encontrou-se um volume de pasta de $V_p = 0,312 \text{ m}^3$. Assim, resta ainda 0,688m³ de material, que é correspondente ao teor de agregados graúdo e miúdo. De acordo com o esqueleto granular a proporção ideal é de 43,57% areia e 63,57% brita, que distribuídos corresponde a valores de 0,309 m³ de areia e 0,379m³ de brita. A Tabela 7 apresenta o valor do Traço 1.

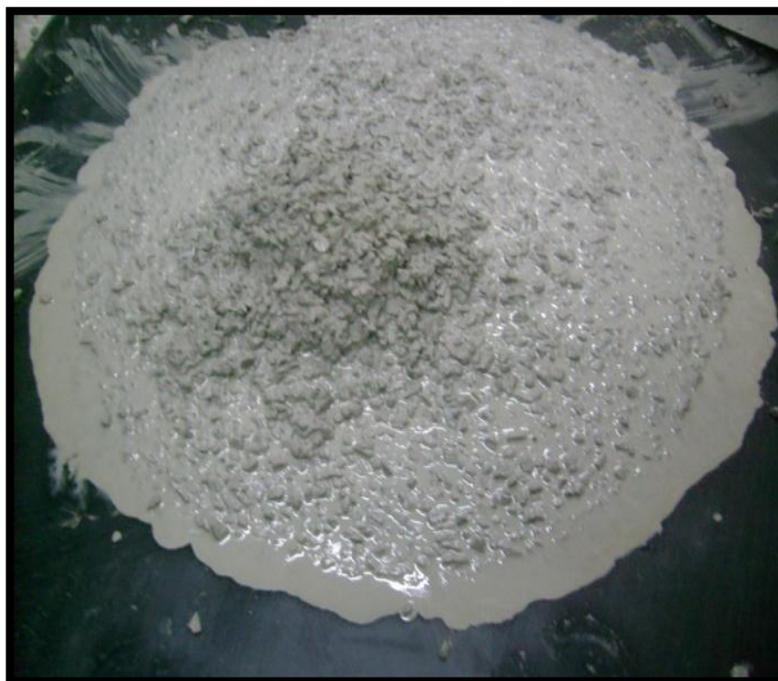
Tabela 7 – Traço 1

Material	Para 1000 litros	Para 30 litros	Unidade
Cimento	445,51	13,36	Kg
Areia	772,96	23,18	Kg
Brita	1023,43	30,70	Kg
SCA	15,92	0,4776	Kg
Aditivo Superplastificante	4,45	0,1335	L
Água	178,28	5,35	L

Fonte: Autoria Própria

Procedeu-se então com a mistura do Traço 1 e após esta ter sido realizada, observou-se que este concreto apresentava acentuada exsudação e segregação na parte central do espalhamento, de acordo com a Figura 30.

Figura 31 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 1



Fonte: Autoria Própria

Acredita-se que estes fenômenos tenham ocorrido devido à elevada porcentagem inicial de superplastificante que havia sido adotada e pela alta quantidade de agregados. Desta forma, procedeu-se com a correção do traço.

3.4.2. Traço 2

3.4.2.1. Volume de Pasta e Consumo de cimento

Para que fosse se possível corrigir os fenômenos de exsudação e de segregação que ocorreram no Traço 1, no Traço 2 optou-se por diminuir o teor de aditivo superplastificante de 1% para 0,8%, pois, altos teores deste aditivo favorecem exsudação.

Tabela 8 – Parâmetros iniciais para o Traço 2

Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Relação Superplastificante/Cimento	Relação Pozolana/Cimento
C	a/c	sp/c	sf/c
450 Kg/m ³	0,4	0,8%	3,57%

Fonte: Autoria Própria

Assim, com o novo consumo de cimento recalculou-se o volume de pasta e o consumo de cimento corrigido através das Equações 1 e 12, e verificou-se os seguintes valores:

$$V_p = 0,354 \text{ m}^3 \text{ e } C = 453,27 \text{ Kg/m}^3$$

Desta forma, calculou-se a quantidade certa de materiais e manteve-se a dosagem para 30 litros.

Tabela 9 – Traço 2

Material	Para 1000 litros	Para 30 litros	Unidade
Cimento	453,27	13,6	Kg
Areia	764,83	22,95	Kg
Brita	1012,60	30,38	Kg
SCA	16,19	0,4857	Kg
Aditivo Superplastificante	3,624	0,1089	L
Água	181,31	5,44	L

Fonte: Autoria Própria

Procedeu-se então com a execução do Traço 2, que indicou exsudação, porém mais amena, se comparado com o Traço 1, e segregação menos acentuada. A figura 31 indica o resultado do espalhamento deste.

Figura 32 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 1



Fonte: Autorial Própria

Mesmo ocorrendo a diminuição do aditivo de 1% para 0,8%, percebe-se neste concreto que a porcentagem de superplastificante ainda estava alta, o que gerou segregação e exsudação. Assim, optou-se por diminuir ainda mais a porcentagem de aditivo no Traço 3.

3.4.3. Traço 3

3.4.3.1. Volume de Pasta e Consumo de cimento

Após os resultados obtidos no Traço 3, optou-se pela redução do aditivo superplastificante de 0,8% para 0,6%, afim de corrigir os fenômenos citados, que são segregação e exsudação. O consumo de cimento manteve-se na ordem de $C = 450 \text{ kg/m}^3$. Os parâmetros utilizados para a confecção do traço encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Parâmetros iniciais para o Traço 3

Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Relação Superplastificante/Cimento	Relação Pozolana/Cimento
C	a/c	sp/c	sf/c
450 Kg/m ³	0,4	0,6%	3,57%

Fonte: Autoria Própria

Assim, recalculou-se o volume de pasta e do consumo de cimento corrigido através das Equações 1 e 12 e conseqüentemente obtiveram-se os novos valores:

$$V_p = 0,353 \text{ m}^3 \text{ e } C = 452,56 \text{ Kg/m}^3$$

Após a correção dos parâmetros anteriores pôde-se calcular a quantidade necessária de materiais para 30 litros exemplificados na Tabela 11.

Tabela 11 – Traço 3

Material	Para 1000 litros	Para 30 litros	Unidade
Cimento	452,56	13,6	Kg
Areia	766	22,98	Kg
Brita	1014,17	30,43	Kg
SCA	16,17	0,4851	Kg
Aditivo Superplastificante	2,715	0,08144	L
Água	181,02	5,44	L

Fonte: Autoria Própria

Após decorrida a concretagem, este traço não apresentou segregação, porém ainda apresentou exsudação, mas muito reduzida, o que fez com que fosse necessária mais uma correção no teor do aditivo, porém muito discreta, o que foi feito no Traço 4. A Figura 32 mostra o aspecto que o CAA do Traço 3.

Figura 33– Resultado do teste de espalhamento do Traço 3



Fonte: Autoria Própria

3.4.4. Traço 4

3.4.4.1. Volume de Pasta e Consumo de cimento

Para que a discreta exsudação apresentada no Traço 3 pudesse ser corrigida, optou-se novamente pela diminuição do aditivo de 0,6% para 0,53,57% , pois valores muito inferiores poderiam afetar a trabalhabilidade deste material. Assim, mantendo-se o consumo de cimento na ordem de $C = 450 \text{ Kg/m}^3$, pôde-se encontrar a quantidade ideal de materiais. Os parâmetros iniciais para a confecção do Traço 4 encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros iniciais para o Traço 4

Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Relação Superplastificante/Cimento	Relação Pozolana/Cimento
C	a/c	sp/c	sf/c
450 Kg/m^3	0,4	0,53,57%	3,57%

Fonte: Autoria Própria

Desta forma o novo traço fora recalculado de acordo com as Equações 1 e 12, o que gerou um volume de pasta e consumo corrigido de cimento de:

$$V_p = 0,353 \text{ m}^3 \text{ e } C = 453,15 \text{ Kg/m}^3$$

Procedeu-se então com o cálculo da quantidade de materiais necessários para a concretagem do Traço 4, constados na Tabela 13.

Tabela 13 – Traço 4

Material	Para 1000 litros	Para 30 litros	Unidade
Cimento	453,15	13,6	Kg
Areia	766,01	22,98	Kg
Brita	1014,17	30,42	Kg
SCA	16,19	0,4857	Kg
Aditivo Superplastificante	2,492	0,07476	L
Água	181,26	5,44	L

Fonte: Autoria Própria

Procedendo então com a concretagem, notou-se um concreto sem presença de exsudação e de segregação, conforme as Figuras 33 e 34. Os resultados para as propriedades reológicas encontram-se na Tabela 14 no Capítulo 4 de resultados e discussões, juntamente com os valores encontrados para os ensaios mecânicos.

Após a execução do Traço 4, partiu-se para a concretagem do Traço de Referência, sem substituição de SCA para que se pudesse estimar o que esta sílica causa de diferente no CAA.

3.4.5. Traço de Referência

3.4.5.1. Volume de Pasta e Consumo de cimento

Para a confecção do Traço de referência, que seria sem adição de SCA, adotou-se exatamente os mesmos parâmetros que foram fixados para a elaboração do Traço 4, que está exemplificado na Tabela 12. Desta forma, o volume de pasta e o consumo de cimento foram corrigidos de acordo com as Equações 1 e 12, para que fosse descontado o valor da pozolana

e conseqüentemente aumentando o consumo de cimento. Os novos valores para o Traço de Referência foram os seguintes:

$$V_p = 0,353 \text{ m}^3 \text{ e } C = 453,15 \text{ Kg/m}^3$$

Desta forma, calculou-se a nova relação de materiais, exemplificados na Tabela 14.

Tabela 14 – Traço de Referência

Material	Para 1000 litros	Para 30 litros	Unidade
Cimento	453,15	13,60	Kg
Areia	815,67	24,50	Kg
Brita	996,93	29,94	Kg
SCA	-	-	Kg
Aditivo Superplastificante	2,492	0,0747	L
Água	181,26	5,44	L

Fonte: Autoria Própria



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Estado Fresco

- **Traço 4 (Com SCA)**

Os ensaios reológicos realizados no estado fresco apontaram o Traço 4 como o ideal. A Tabela 15 apresenta os resultados encontrados

Tabela 15 – Resultados reológicos do Traço 4

Ensaio	Resultado	Propriedade
Slump Flow Test	D = 680 mm	Fluidez
Slump Flow T50 Test	t = 4 seg	Fluidez
Caixa L	H2/H1 = 0,82	Habilidade Passante
Funil V 5 Minutos	T1 = 21 seg e T2 = 23 seg	Resistência a Segregação

Fonte: Autoria Própria

A Figura 34 mostra o Traço 4 após o ensaio de espalhamento. Percebe-se que não houve exsudação, nem segregação aparente.

Figura 34 – Resultado do teste de espalhamento do Traço 4



Fonte: Autoria Própria

A Figura 35 mostra em detalhe a superfície limite do concreto.

Figura 35 – Concreto sem presença de exsudação no Traço 4



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 36 mostra-se o Traço 4 durante o ensaio de Caixa L. A habilidade de passar as barras de armadura sem deixar vazios ou segregar é primordial para um bom concreto autoadensável.

Figura 36 – Medidas do Traço 4 no ensaio de Caixa L



Fonte: Autoria Própria

A Figura 37 apresenta o Traço 4 no ensaio de Funil V 5 Minutos.

Figura 37 – Procedimento do ensaio de Funil V 5 Minutos para o Traço 4



Fonte: Autoria Própria

Todos os resultados obtidos estão de acordo com os parâmetros exigidos pelas normas brasileiras de concreto autoadensável.

- **Traço de Referência**

O Traço de Referência (traço sem presença de sílica de casca de arroz) apresentou os resultados mostrados na Tabela 16 para os ensaios no estado fresco.

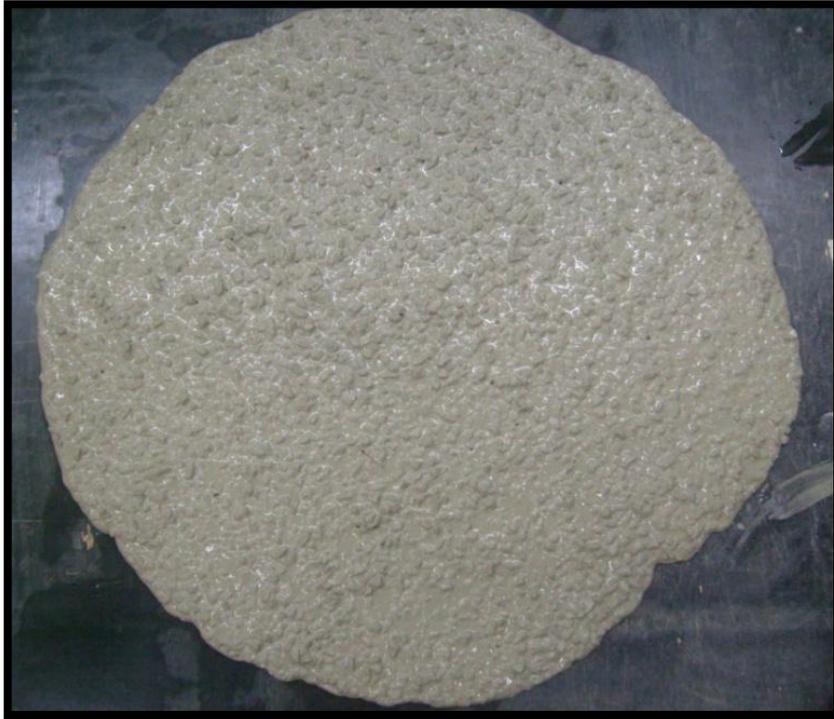
Tabela 16 – Resultados reológicos do Traço de Referência

Ensaio	Resultado	Propriedade
Slump Flow Test	D = 715 mm	Fluidez
Slump Flow T50 Test	t = 3 seg	Fluidez
Caixa L	H2/H1 = 0,84	Habilidade Passante
Funil V 5 Minutos	T1 = 20 seg e T2 = 21 seg	Resistência a Segregação

Fonte: Autoria Própria

As Figuras 38 e 39 mostram o Traço Referência após os ensaios de Espalhamento. As Figuras 40 e 41 mostram o Traço nos ensaios de Caixa L e Funil V, respectivamente.

Figura 38 – Resultado do teste de espalhamento do Traço de Referência



Fonte: Autoria Própria

Figura 39 – Concreto sem presença de exsudação no Traço de Referência



Fonte: Autoria Própria

Figura 40 – Ensaio de Caixa L para o Traço de Referência



Fonte: Autorial Própria

Figura 41– Ensaio de Funil V 5 Minutos para o Traço de Referência



Fonte: Autorial Própria

Todos os resultados obtidos para o Traço Referência estão de acordo com os parâmetros exigidos pelas normas brasileiras de concreto autoadensável.

- **Comparação no Estado Fresco: Traço 4 (Com SCA) x Traço de Referência**

Após ambas as misturas, pôde-se perceber quais são os efeitos causados no concreto autoadensável pela substituição parcial do cimento por sílica de casca de arroz no estado fresco. Observa-se na Tabela 17 os resultados de ambos os Traços.

Tabela 17 – Resultados Traço 4 x Traço de Referência no estado fresco

Ensaio	Traço 4 (Com SCA)	Traço de Referência (Sem SCA)
Slump Flow Test	D = 680 mm	D = 715 mm
Slump Flow T50 Test	t = 4 seg	t = 3 seg
Caixa L	H2/H1 = 0,82	H2/H1 = 0,84
Funil V 5 Minutos	T1 = 21 seg e T2 = 23 seg	T1 = 20 seg e T2 = 21 seg

Fonte: Autoria Própria

Desta forma, observam-se que:

- Slump Flow Test: A utilização de SCA no CAA provoca uma redução no espalhamento de 4,8%, o que significa que a sílica deixa o concreto mais coeso.
- Slump Flow T50 Test: O concreto com sílica (Traço 4) demora mais tempo para atingir a marca de D = 500 mm na placa, o que indica que este é menos fluido e mais coeso do que o concreto referência.
- Caixa L: A habilidade passante do concreto com SCA é menor devido ao fato de que este é menos fluido, o que fez com que sua passagem pelas armaduras fosse mais difícil.
- Funil V 5 Minutos: O Traço 4 (Com SCA) escoou pelo funil de forma mais lenta, por estar menos fluido e mais coeso do que o Traço 5 (Sem CAA). Todavia, ambos não apresentaram segregação no ensaio de 5 minutos.

Desta forma, percebe-se que a presença da SCA resultou em menor trabalhabilidade no estado fresco.

4.2. Estado Endurecido: Traço 4 (Com SCA) x Traço de Referência

Após os resultados dos ensaios no estado fresco, foram moldados 16 corpos de prova para cada uma das misturas. Estes foram rompidos nas idades de 7 e 28 dias, para os ensaios de Resistência à Compressão Axial e Resistência à Tração por Compressão Diametral. As resistências médias foram obtidas considerando-se o desvio padrão e o coeficiente de variação máximo.

As moldagens foram realizadas no mês de agosto de 2013, mês de frio muito intenso. A Tabela 18 mostra os valores de resistência encontrados.

Tabela 18 – Resultados de resistência mecânica

Traço	Compressão Axial (MPa)		Tração por Compressão Diametral (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
4 (Com SCA)	20,1	37,09	1,8	3,7
Referência	27,09	34,15	2,2	2,7

Fonte: Autoria Própria

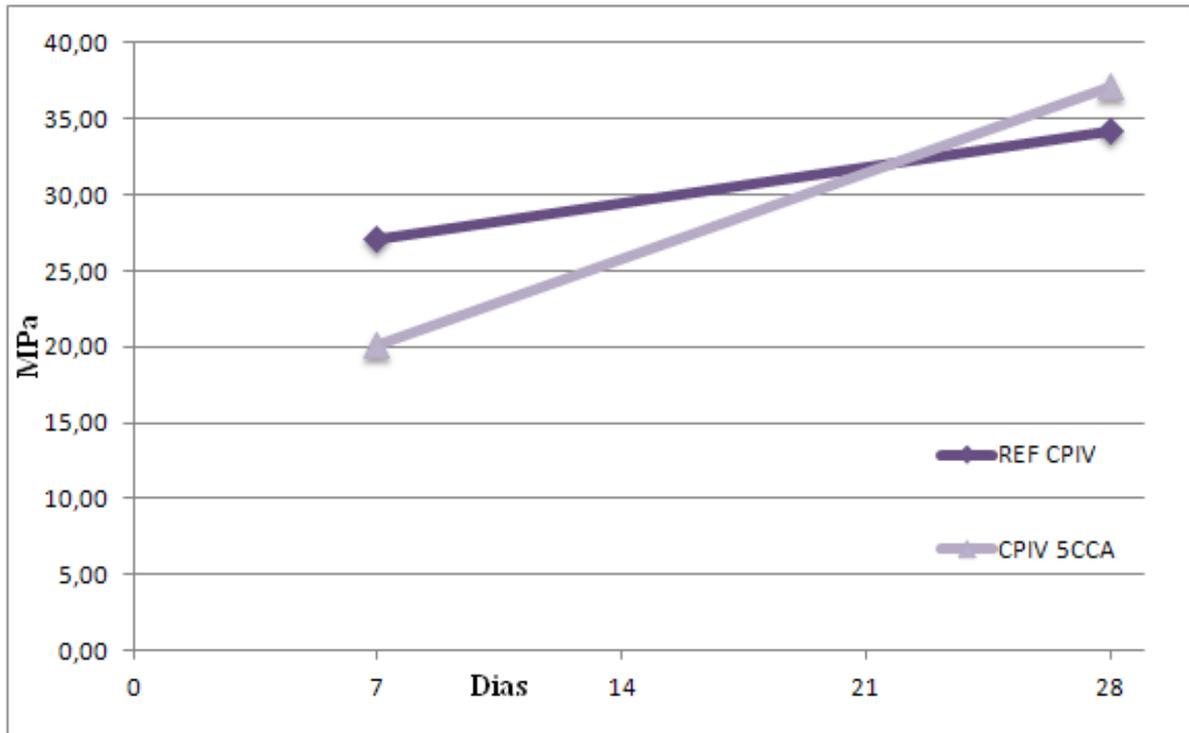
Com relação ao Traço 4 e de Referência, observou-se os seguintes percentuais de ganho de resistência dos 7 para os 28 dias à compressão e à tração:

Tabela 19 – Percentual de ganho de resistência

Traço	% Ganho de Resistência a Compressão	% Ganho de Resistência a Tração
4 (Com SCA)	45,81%	51,35 %
Referência	20,64%	18,51 %

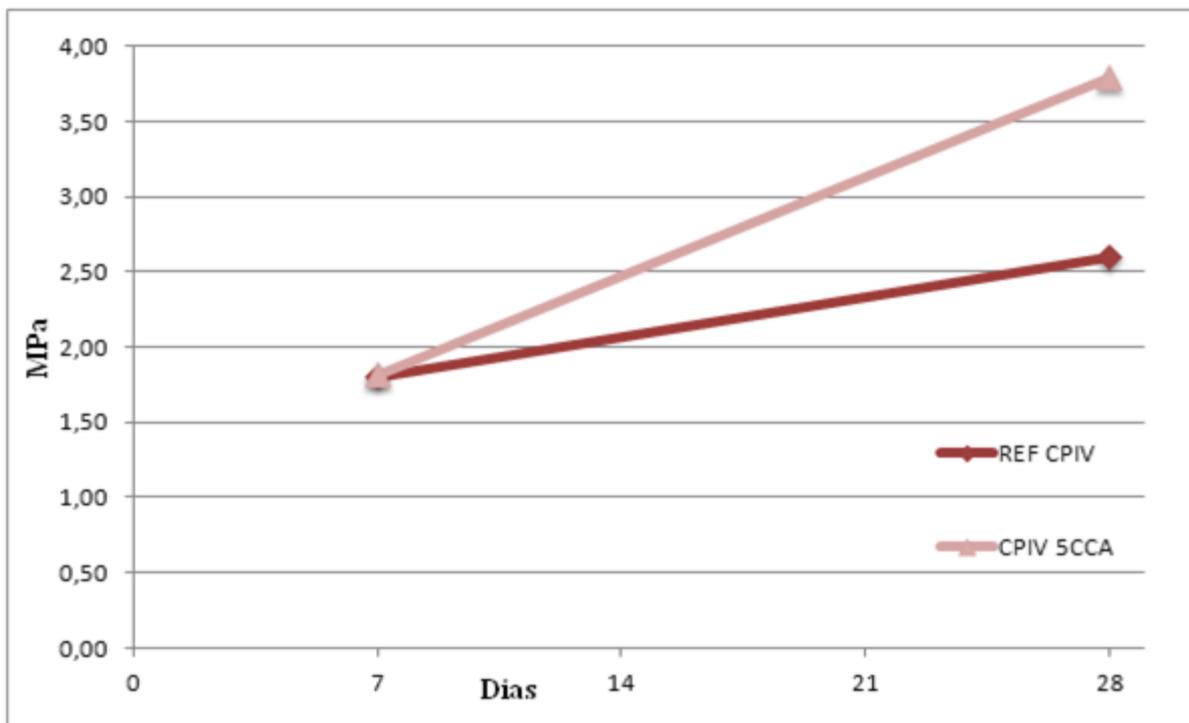
Fonte: Autoria própria

Gráfico 4 – Resistência a compressão axial do CAA para o Traço 4 e de Referência



Fonte: Autoria Própria

Gráfico 5 – Resistência a tração por compressão diametral do CAA para o Traço 4 e de Referência



Fonte: Autoria Própria

As Figuras 42 e 43 mostram os corpos de prova para a Mistura com SCA e para a Mistura de Referência. Percebe-se que ambos os concretos apresentam aspecto homogêneo tanto no seu exterior quanto no seu interior.

Figura 42 – Corpos-de-prova rompidos a compressão e a tração no Traço 4



Fonte: Autoria Própria

Figura 43 – Corpos-de-prova rompidos a compressão e a tração no Traço de Referência



Fonte: Autoria Própria

Acredita-se que as temperaturas muito baixas durante o período de cura (variando entre 0°C e 10° C), pode ter afetado o ganho de resistência, visto que o Laboratório de Materiais e Construção Civil da Unipampa não possui câmara com temperatura controlada para a cura. A cura em temperatura controlada poderia proporcionar ganho de resistência mais acelerado influenciando os resultados de 7 e 28 dias de ensaio.

Comparando os resultados dos dois traços entre si, observa-se tanto com as Tabelas 18 e 19 quanto com os Gráficos 4 e 5 que o CAA para o Traço 4, que fora utilizada substituição de 3,57% do cimento por sílica de casca de arroz, apresenta menor resistência aos 7 dias se comparado com o concreto do Traço de Referência. Porém, nota-se um considerável ganho de resistência dos 7 para os 28 dias do concreto com SCA, o que não ocorreu no de referência.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A utilização de sílica de casca de arroz no concreto autoadensável no estado fresco resulta em piores condições de trabalhabilidade, devido ao fato de sua partícula possuir formato alveolar e textura áspera, tendo assim, a tendência de absorver mais água do concreto, deixando este mais coeso e conseqüentemente menos fluido. Todavia, o traço adotado nesta pesquisa apresentou tanto para o concreto com substituição, quanto para o de referência, parâmetros aceitáveis de trabalhabilidade no estado fresco segundo as normas brasileiras.

No que se refere à resistência no estado endurecido, a SCA resultou em menor resistência para a idade de 7 dias mas aos 28 dias a resistência deste foi maior que a do Traço de Referência. Este teve um aumento de aproximadamente 50% entre as idades de 7 e 28 dias, enquanto que o Traço de Referência teve aumento de aproximadamente 20%. A melhora da resistência deve-se à reação pozolânica que resulta no refinamento dos poros do concreto, densificando a matriz da pasta.

Por fim, o desenvolvimento de um concreto autoadensável usando um subproduto produzido na região (SCA) pode ser uma alternativa desde que se aprofundem os estudos iniciados com esta pesquisa. Desta forma sugere-se para trabalhos futuros testar outros tipos de superplastificantes e modificadores de viscosidade, ou a mistura de outros tipos de adições minerais combinadas com a sílica de casca de arroz a fim de contornar o excesso de coesão que esta resulta.

Ainda, a repetição dos ensaios aqui realizados desde que controladas a temperatura de cura e do ambiente durante a realização dos ensaios reológicos no estado fresco e mecânicos pode apontar resultados diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10908**: Aditivos para argamassa e concreto – Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto auto-adensável, Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Concreto auto-adensável, Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4**: Concreto auto-adensável, Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5**: Concreto auto-adensável, Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

CAVALCANTI, D.J.H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

DA SILVA, F. G.; LIBÓRIO, J. B.L. Durabilidade de concreto de alto desempenho com sílica de FE-SI ou sílico-metálico em ambientes marinhos. São Carlos, 2004. Disponível em: <http://www.semengo.furg.br/2004/11_2004.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2012.

DAL MOLIN, D. C.; OLIVEIRA, A. P. M.; KULAKOWSKI, M. P. Estudo de concretos com adição de sílica ativa (microsílica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em pisos especiais. Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/Estudo_de_Concretos_com_Adicao_de_S%C3%ADlica_Ativa_2006122610819.pdf> Acesso em: 10 ago. 2012.

DOMONE P. L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of cases of studies. **Cement and Concrete Composites**, v.28, p.197-208, 2006.

DOS SANTOS, F. B. **Influência do C₃A em pastas de cimento portland: Avaliação das propriedades reológicas**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DOS SANTOS, S. P. A.; DA SILVA, A. S. R. Propriedades reológicas do concreto auto-adensável no estado fresco. Salvador, 2010. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0051.pdf> Acesso em: 15 set. 2012.

FOCHS, R. G. **Estudo comparativo entre métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FRIZZO, B. T. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto.** 2001. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

GEYER, A. L. B.; DE SÁ, R. R. **Concreto auto-adensável: Uma nova tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia.** Disponível em: {http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/informativo_realmix.pdf }. Acesso em 15 de Maio de 2012.

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

GOMES, P. C. C. **Optimization and Characterization of high-strength self-compacting concrete.** 2002. 386 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

HIPERPLASTIFICANTES E SUPERPLASTIFICANTES. Disponível em: {<http://www.basf-cc.com.br/PT/solucoes/haditivos/Pages/superplastificantes.aspx> }. Acesso em: 23 mai. 2012.

HOPPE FILHO, J; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R.G. **Técnicas de Caracterização Reológica de Concretos.** In: Revista Concreto & Construção. São Paulo. nº 47. São Paulo, p. 108-124, 2007.

INOVAÇÕES DO CONCRETO: CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL. Disponível em: {<http://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/03/11/inovacoes-no-concreto-2-concreto-auto-adensavel/>}. Acesso em: 19 mai. 2012.

ISAIA, G. C. **Concreto: Pesquisa, Ensino e Realizações.** São Paulo: Ed.Geraldo Cechella Isaia, IBRACON, 2005. 1v.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável.** 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

KUNZ, L. M. **The “Greening” of the Concrete Industry: Factors Contributing to Sustainable Concrete.** 2006. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Cambridge, 2006.

LISBÔA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduos do beneficiamento do mármore e granito e estudo propriedades mecânicas.** 2004. 144 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

MANTUANO NETTO, R. **Materiais pozolânicos.** 2006. 149 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MANUEL, P. J. M. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis.** 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibras de aço.** 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências 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.** São Paulo: Ed. PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Ed. PINI, 2008.

MEIRELES, D. *et al.* Avaliação das propriedades do concreto. Goiânia, 2009. Disponível em: <<http://www.procelconstrutora.com.br/artigos/1/avaliacao-das-propriedades-do-concreto>>. Acesso em: 21 set. 2012.

PALARETI, R. **Concreto auto-adensável.** 2009. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

PAUMGARTTEN, M. D. V. **Concreto auto-adensável com materiais encontrados na região de Belém.** 2010. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

PEDROZO, E. C. **Estudo da utilização de sílica da casca do arroz residual em concretos estruturais: Uma análise da durabilidade aos cloretos.** 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da sílica de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006. 345 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 2ª ed. Porto Alegre: EDI-PUCRS, 2011. 128p.

RIGHI, D. P. **Caracterização de argamassas a base de cimento portland e sílica de casca de arroz oriunda da queima com e sem controle de temperatura.** 2012. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2012.

SANTANA, L. L.; COSTA F. N. Análise da resistência à compressão de concretos com cura úmida e sem cura. Salvador, 2010. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0033.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

SÍLICA GEL. Disponível em: {<http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADlica-gel>}. Acesso em 3 mai. 2012.

SOLUÇÃO FLUÍDA. Disponível em: {<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/132/artigo76078-1.asp>}. Acesso em: 21 mai. 2012.

TASHIMA M.M. *et al.* Reaproveitamento da sílica de casca de arroz na construção civil. **Holos Environment**, Rio Claro, v.11, n.1, p.81, 2003.

TECNOLOGIA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO. Disponível em: {<http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/conc14.pdf>}. Acesso em: 19 de maio de 2012.

TIBONI, R. **A utilização da sílica de casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento portland.** 2007. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Carlos, São Paulo, 2007.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, B.F.; DAL MOLIN D. C. **Vantagens concretas.** Revista Técnica. Disponível em: {<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/140/vantagens-concretas-117248-1.asp>}. Acesso em: 19 mai. 2012.

TUTIKIAN, B.F.; DAL MOLIN D. C. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Ed. PINI, 2008.

