



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Yasmin Dirce Martins Arantes**

**ESTUDO DE DOSAGEM EMPIRICA DE CONCRETO AUTO  
ADENSÁVEL BASEADO EM UM TRAÇO DE CONCRETO  
CONVENCIONAL**

**Palmas - TO  
2017**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*

*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

**Yasmin Dirce Martins Arantes**

**ESTUDO DE DOSAGEM EMPIRICA DE CONCRETO AUTO  
ADENSÁVEL BASEADO EM UM TRAÇO DE CONCRETO  
CONVENCIONAL**

Projeto apresentado como requisito final para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>.Elizabeth Hernández Zubeldia.

**Palmas - TO  
2017**



# CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Yasmin Dirce Martins Arantes**

## ESTUDO DE DOSAGEM EMPIRICA DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL BASEADO EM UM TRAÇO DE CONCRETO CONVENCIONAL.

Projeto apresentado como requisito final para  
aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de  
Curso II em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Elizabeth Hernández  
Zubeldia.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_ 2017.

### BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr<sup>a</sup>. Elizabeth Hernández Zubeldia.

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Fábio Henrique Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Miguel Angelo de Negri

Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas - TO  
2017**

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

CEULP - Centro Universitário Luterano de Palmas

CP - Corpo-de-prova

CAA - Concreto auto adensável

RCG - Resíduos de Corte de Granito

CP-II-Z - Cimento Portland composto com pozolana

CAD – Concreto de Alto Desempenho

CCV – Concreto Convencional

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Pirâmides do Egito.....	10
Figura 2- Panteão Romano. ....	11
Figura 3- Tipos de areia quanto às dimensões. ....	12
Figura 4- Britas de dimensões variadas. ....	13
Figura 5- Modelo de Cone Abrams .....	18
Figura 6 - Régua metálica .....	19
Figura 7 - comparação da proporção dos materiais do concreto convencional e auto- adensável.....	20
Figura 8 - Esquema do fluxograma do método de dosagem de Okamura, adaptado por Alencar, 2008.....	21
Figura 9: Passo a Passo para dosagem de CAA com o método Tutikian& Dal Molin (2007).....	23
Figura 10 - Cone de Abrams já preenchido.....	25
Figura 11 - Escoamento ocorrido após o içamento do cone. ....	25
Figura 12 - SlumpFlowtest.....	26
Figura 13 - Anel – J (Ringtest).....	27
Figura 14 - Modelo Anel J .....	27
Figura 15 - Slump Teste.....	35
Figura 16 – Slump Flow Teste.....	35
Figura 17 - Corpos de Prova para Ensaio de Compressão.....	36
Figura 18 - Efeitos da Sílica na microestrutura do concreto.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aparelhagem para caracterização da fluidez/trabalhabilidade do CAA....	17
Tabela 2 - Faixas para caracterização das propriedades de fluxo do CAA, adaptado por Cavalcanti, 2006. ....	22
Tabela 3: Dosagem do traço de referência T-0 .....	29
Tabela 4 - Ensaio no Estado Fresco realizados nesta pesquisa .....	29
Tabela 5 - Dosagem do traço de CAA.....	30
Tabela 6 - Características físicas da areia. ....	32
Tabela 7 - Características físicas da brita. ....	32
Tabela 8– Características Técnicas do Aditivo Utilizado .....	34
Tabela 9 - Resultados dos ensaios no estado fresco.....	34
Tabela 10 - Resultados de Resistência à Compressão 3 dias .....	37
Tabela 11 - Resultados de Resistência à Compressão 7 dias .....	37
Tabela 12 - Resultados de Resistência à Compressão 28 dias .....	37
Tabela 13 - Custo CAA por m <sup>3</sup> .....	38
Tabela 14 - Custo CCV por m <sup>3</sup> .....	39
Tabela 15 - Resultados de Absorção de Água .....	40

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	2
LISTA DE TABELAS .....	3
RESUMO.....	6
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>8</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	8
1.1.2 Objetivos Específicos .....	8
<b>1.2. Justificativa.....</b>	<b>8</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>História do Cimento .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Agregados.....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Definição .....	11
2.1.2. Origem.....	11
2.1.3. Dimensões .....	12
2.1.4. Utilização no CAA.....	13
<b>2.2. Concreto Auto adensável .....</b>	<b>13</b>
2.2.1. HISTÓRICO.....	14
2.3.2 ADITIVOS .....	14
2.3.3 ADIÇÃO DE FINOS .....	16
2.3.4DESCRIÇÃO DOS ESTADOS DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL .....	17
<b>2.4. MÉTODOS DE DOSAGEM.....</b>	<b>20</b>
2.4.1. Método De Dosagem Proposto Por Tutikian& Dal Molin (2007) .....	22
2.4.2. Ensaios para determinação das características do concreto Auto Adensável no estado fresco de acordo com a norma 15823:2010.....	23
2.4.3.Ensaio De Espalhamento (SlumpFlow Test).....	24
2.4.4. Ensaios Do Anel-J (Ring Test) .....	26
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. Programa Experimental .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2Dosagem do Traço de Referência.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Variáveis.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4Parâmetros Fixos .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 - Dosagem do CAA.....</b>	<b>30</b>

3.6 – Produção dos Corpos de Prova .....	31
3.7 – Ensaio de Resistência à Compressão .....	31
4. RESULTADO E DISCUSSÕES .....	32
4.1 Materiais utilizados e suas propriedades.....	32
4.1.1 Cimento .....	32
4.1.2 Areia .....	32
4.1.3 Brita .....	32
4.1.4 Aditivo superplastificante.....	33
4.1.5 Sílica Ativa .....	34
4.1 Propriedades no estado fresco .....	34
4.2 Resultados de resistência .....	36
4.3 Comparativo de custo dos concretos .....	38
4.4 Absorção de Água.....	39
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	41
6. REFERÊNCIAS.....	42
Anexo .....	45



## RESUMO

A preocupação fundamental deste estudo foi comparar dois traços de concreto, sendo um de concreto convencional (CCV) e outro de concreto auto adensável (CAA), propondo uma dosagem experimental a partir da dosagem do CCV. Através de uma revisão bibliográfica sobre o assunto considerando os autores relacionados a esta pesquisa, foi dosado um traço de referência através do método baseado na norma ACI 211.1-91 (2005). A partir deste traço de referência foi concebido o traço de CAA pela adição da sílica ativa e o aditivo superplastificante. Ensaio foram realizados no estado fresco e endurecidos dos concretos – segundo as diretrizes da NBR 15823:2010 para o auto adensável. Além dos ensaios físicos e mecânicos, foi realizada uma comparação de custo entre os dois materiais. O CAA produzido atendeu aos requisitos mínimos de trabalhabilidade em seu estado fresco, porém seu custo é insatisfatório, tornando o método proposto inviável.

Palavras-chave: concreto auto adensável, concreto convencional, sílica ativa, ensaio de compressão.

## ABSTRACT

The main concern of this study was to compare two concrete mixtures, the first one a conventional concrete and the other a self-compacting concrete, proposing an experimental dosage from the dosing of conventional concrete. Through a bibliographic review on the subject, considering the authors related to this research, a reference mixture was designed using the method based on the standard ACI 211.1-91 (2005). From this reference mixture a self-compacting mixture was designed by the addition of silica fume and super plasticizer additive. Tests were carried out in the fresh and hardened condition of concrete - according to NBR 15823: 2010 guidelines for the self-compacting. In addition to the physical and mechanical tests, a cost comparison was made between the two materials. The self-compacting concrete produced met the minimum workability requirements in its fresh state, but its cost is unsatisfactory, making the proposed method impracticable.

## 1. INTRODUÇÃO

Com os avanços na cadeia produtiva da construção civil e a procura intensa por produtividade, aliada a qualidade, surge a necessidade de novos materiais que atendam essa demanda. O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo, segundo Pedroso (2009), e tem acompanhado esse avanço com o surgimento de novos materiais, como concreto de alto desempenho, auto adensável, permeável, leve estrutural, aparente, entre outros. Sabe-se que a utilização de concretos especiais dos mais variados tipos traz benefícios para as obras (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

As exigências atuais do mercado da construção civil, como obras com projetos cada vez mais ousados, aliado ao controle de custos cada vez mais restritivos faz com que a Engenharia Civil busque evoluções tecnológicas para atendimento destas necessidades. Esta busca tem levado a construção civil a aperfeiçoar os processos e reduzir os custos. O concreto Auto Adensável(CAA) vem como um material que têm suprido essas necessidades, como diminuição dos gastos com mão de obra e aumento da produtividade através de uma produção industrializada (TUTIKIAN 2004, p. 24). O concreto Auto Adensável (CAA) caracteriza-se pela sua alta trabalhabilidade dada sob seu próprio peso sem qualquer forma de compactação ou vibração. O CAA tem a capacidade de se espalhar suavemente em elementos densamente armados devido à sua fluidez e utilização de agregados de tamanho pequenos (YEHIA, et al., 2016). O CAA garante seu público e toma espaço no mercado por apresentar um desempenho diferenciado. Com o advento dos superplastificantes adicionados ao seu traço, o CAA apresenta alta fluidez e capacidade de preencher vazios, uma percolação imediata sobre a forma ou superfície que o mesmo seja lançado devido a sua alta viscosidade decorrente da adição adequada de finos e adições minerais. (GOMES; BARROS, 2009).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Estudar a possibilidade de utilizar o método ACI 211.1-91 (2005) para dosar um concreto auto adensável.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Dosar um concreto auto adensável empiricamente, com adição de sílica ativa que atenda a resistência do concreto convencional referência.
- Analisar propriedades em estado fresco e em estado endurecido do concreto auto adensável.
- Comparar o custo por m<sup>3</sup> (metro cúbico) do concreto auto adensável com o do concreto referência.

## **1.2. Justificativa**

Existem métodos de dosagens bem difundidos e inúmeras pesquisas sobre o tema, entretanto, este estudo visa propor uma nova forma de dosagem, de maneira mais intuitiva a partir de um método já conhecido para o Concreto Convencional (CCV) - ACI 211.1-91 (2005). O Concreto Auto Adensável (CAA) é um material cuja sua aplicação tem sido cada vez mais disseminada, devido os inúmeros benefícios de sua aplicação quando comparado ao CCV.

Segundo Tutikian (2004, p. 140), na medida em que se aumenta a faixa de resistência do concreto o custo de produção do CAA vai se aproximando do CCV e, em alguns casos, pode ficar inferior. O desenvolvimento do CAA é necessário para garantir estruturas duráveis no futuro Okamura (1997, p.1). A utilização do CAA pode evitar manifestações patológicas oriundas do excesso ou falta de vibração.

Segundo Sideris e Manita (2013), o CAA tem durabilidade maior que os CCV, devido à quantidade de finos utilizada em sua confecção, diminuindo a porosidade do concreto e melhorando seu esqueleto granular, além de aumentar sua resistência a compressão.

Este trabalho de pesquisa estudou o comportamento de dois tipos de concretos, convencional e autoadensável com adição de sílica ativa, dosados com um material de mesma origem.

Pelo fato de ser uma análise de cunho experimental com fins de comparar o desempenho no estado fresco e vantagens de utilização em estruturas de concreto, o estudo ressalta também os benefícios do uso do CAA na construção civil.

Este concreto por sua vez contém uma porcentagem de filler pozolânico, sílica ativa, que neste caso, reduz o consumo de cimento, garante uma resistência satisfatória - semelhante à do concreto convencional - e preencher vazios com maior precisão, propriedade essa que aumenta a resistência do material após a cura e o previne de vulnerabilidades a algumas patologias.

Condicionando à justificativa desta pesquisa atentar estabelecer um método simplificado de dosagem do Concreto Auto Adensável a partir de um traço pré-existente de Concreto Convencional dosado a partir do método do ACI 211.1-91 (2005).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### História do Cimento

A palavra cimento deriva do latim *caementum*, que significa união. O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A ASTM C 150 define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

Uma das mais antigas, ou talvez as mais antigas, evidências de uso de cimento se encontra nas pirâmides do Antigo Egito conforme figura 1. Nesta época eles produziam uma liga formada por uma mistura de gesso calcinado. Mais adiante, os romanos e os gregos começaram a utilizar um material obtido da queima de um gesso composto de calcário e cinzas vulcânicas, e este era misturado com areia e cacos de telhas. Essa argamassa foi utilizada em construções que existem até os dias atuais. Um exemplo de construção romana, que resiste até hoje é o Panteão, que foi construído em 27 a.C. conforme figura Battagin, Arnaldo Forti, (2017)

Figura 1- Pirâmides do Egito.



Fonte: Site [www.historiadomundo.com.br](http://www.historiadomundo.com.br)

Figura 2- Panteão Romano.



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland.

## 2.1. Agregados

### 2.1.1. Definição

Material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula (inerte), constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

### 2.1.2. Origem

Os naturais de densidade média: são encontrados na natureza já fragmentados sob a forma particulada: areias de barranco, minas, rios e mar; seixos rolados ou pedregulhos extraídos das jazidas de rios, mar ou das jazidas de solos.

Os naturais de densidade leve: inorgânicos celulares granulados constituídos da matéria prima por fontes naturais como: pedras polmes, escórias vulcânicas ou tufo (NEVES, 2009).

Os artificiais de densidade média: são aqueles que a matéria prima necessita ser triturada ou britada, ou seja, receber tratamento de alguma maneira para chegar a forma das partículas dos agregados miúdos e graúdos em condições apropriadas para utilização em concreto normal. Os mais conhecidos são formados através da moagem da britagem de rocha estáveis (NEVES, 2009).

### 2.1.3. Dimensões

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos: areias; os graúdos: seixo rolado, cascalho, britas, conforme estabelecidas especificações da ABNT- NBR- 7211 e 9935.

Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações Brasileira, se encontram em dois grupos: o grupo I, os miúdos cujos grãos passam pelo menos 98% na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos cujos grãos passam pelo menos 90% na peneira de 12,5mm, conforme os limites estabelecidos através da ABNT- NBR- 7213.

Os agregados miúdos (Figura 3) de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos, cujos grãos passam pelo menos 95% na peneira 4,8 mm conforme NBR- 5734, a melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da ABNT-NBR- 7211 para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR-7213 (NEVES, 2009).

Figura 3- Tipos de areia quanto às dimensões.



Fonte: Grupo Aleixo.

Figura 4- Britas de dimensões variadas.



Fonte: Sucess Engenharia.

#### 2.1.4. Utilização no CAA

Para o CAA, (MELO, 2005) afirma que, em decorrência do alto teor de partículas finas no CAA, o teor de agregado graúdo deverá ser reduzido. A forma e textura dos agregados são elementos fundamentais na trabalhabilidade do concreto. Formas arredondadas garantem melhor adensamento, diminuindo os vazios e melhorando a fluidez em decorrência da menor área específica volumétrica (NEVILLE, 1997).

Agregados de superfície áspera e formas angulosas aumentam o consumo de cimento, pois será necessária uma maior quantidade de pasta para que toda a partícula seja envolvida em argamassa a fim de se garantir trabalhabilidade adequada. (METHA; MONTEIRO, 1994).

Tratando-se da granulometria, recomenda-se para o CAA uma distribuição contínua e de tamanho reduzido, pois agregados com granulometria descontínua aumentam o risco de segregação (NEVILLE, 1997).

## 2.2. Concreto Auto adensável

Será abordado nessa etapa do referencial o histórico do CAA, seus benefícios e peculiaridades, principais aspectos e adições, com objetivo de obter resultados satisfatórios, explorando assim o potencial desse concreto na construção civil.



### 2.2.1. HISTÓRICO

Em 1983 em Toquio, HajimaOkamura começou os estudos sobre um novo conceito em concreto, mas foi no Japão em 1988 que surgiu o primeiro CAA de fato e apenas 1988, foi apresentado um protótipo da inovação por Ozawa(GOMES e BARROS, 2009).

A novidade chegou á Europa em meados da década de 90, desencadeando estudos sobre o CAA por todo o mundo. Sua primeira utilização registrada foi em 1989 no Japão, na ancoragem de uma ponte.

A busca por um concreto mais fluído para atender precisões específicas, careceu à adição de aditivos superplastificantes, em sua maioria de 3ª geração. Mesmo com essa melhoria o insumo apresentou limitações ao uso por ser vulnerável a segregação e exaustão. Existia então a necessidade de desenvolver um concreto que dispensasse o adensamento, devido a fluidez ideal, fosse resistente à segregação e exaustão e tivesse níveis de resistência mecânica adequadas (NUNES, 2011).

Araújo (2008) relatou que estudos para a normatização, padronização e especificações para o CAA, tiveram início nas entidades americanas em 2008 e em sequência sua utilização vem se expandindo cada vez mais.

"A partir de 2004, em cidades como Goiânia, Belo Horizonte, Florianópolis e Porto Alegre surgiram as primeiras aplicações de CAA em edificações. Na região de Belém, antes de 2008, somente aplicações de concretagem submersa com concreto auto adensável foram utilizadas, na Ponte do Rio Guamá e nas bases das torres da linha de transmissão da Eletronorte no Rio Guamá e Acará, na década de 70."(VON PAUMGARTTEN, 2010)

### 2.3.2 ADITIVOS

Os aditivos são as substâncias responsáveis pela qualidade e resultado final na obtenção do CAA. Neste estudo foi usado como aditivo o superplastificante.

## Superplastificantes

A presença de um superplastificante no CAA agrega principais características determinantes do insumo; a redução considerável de 3 a 4 vezes de água na determinação do traço, previne a exsudação e otimiza a trabalhabilidade do concreto (PEREIRA, 2015).

Tipos (Nakamura, 2009):

- Superplastificante (2ª geração)

Redução a/c entre 20 e 25%

Ex.: Sais de sulfonados de melamina

Condensados de naftaleno-formaldeído

- Superplastificante (3ª geração)

Redução a/c maior que 30%

Ex.: Policarboxilatos

- Modificador de Viscosidade

Promove viscosidade adequada para teores de finos limitados, garantindo resistência à segregação. (MELO, 2005)

Ex.: Acrílico, glicol.

De acordo com MILA (2014), os superplastificantes de 3ª geração são os que oferecem melhor desempenho para a produção de concretos de Alta performance, como o auto adensável. Cita as principais vantagens e benefícios do aditivo, destacando-se por reduzir o consumo de água na produção; deixar o CAA mais trabalhável; minimizar a exsudação; manutenção da plasticidade em seu estado fresco; compatibilidade grande parte das bases químicas e aumenta a resistência à compressão.

### 2.3.3 ADIÇÃO DE FINOS

Gomes et al. (2003b, p.1) afirmam que o desenvolvimento de concretos especiais, especificamente o auto adensável, que utilizam alta dosagem de resíduos sólidos industriais na forma de finos, é uma contribuição positiva para o desenvolvimento sustentável do concreto. Ao utilizar-se sílica ativa, cinza volante, metacaulim e cinzas de casca de arroz em substituição ao cimento, obtém-se um ganho ecológico significativo, já que estes são resíduos ou subprodutos industriais. Este mesmo autor acrescenta que o CAA normalmente trabalha com relações a/c menores, devido ao uso de aditivos superplastificantes, o que torna a estrutura mais durável, retardando-se a necessidade de reparos e substituições. Esta afirmação, no entanto, não é consensual.

Os materiais finos podem ser diversos, e devem ser escolhidos após uma análise técnica e econômica, pois existem vários materiais que são resíduos de indústrias, de mais baixo custo e que teriam de ser tratados respeitando legislações ambientais. Se os materiais forem pozolânicos, substituirão o cimento, em massa, e se forem não pozolânicos, substituirão o agregado miúdo. E como são responsáveis pela coesão do CAA, os componentes finos deverão possuir uma área superficial maior que a dos materiais substituídos. Por isso, EFNARC (2002, p.5) define como finos, partículas menores que 0,125mm, incluindo os dos agregados.

Na obtenção de CAA, além da adição de aditivos plastificantes e modificadores de viscosidade, pode ocorrer adição de finos, sendo esses finos pozolânicos ou não. Os finos têm como objetivo melhorar o empacotamento, dando assim melhor trabalhabilidade ao concreto e melhor desempenho. Finos não pozolânicos não possuem propriedades cimentíceas portanto têm função apenas de preencher os vazios e podem substituir parte da areia (COUTINHO, 2011). No presente trabalho foi utilizado um fino pozolânico, a sílica ativa. A sílica ativa é uma super pozolâna, com grande reatividade com o hidróxido de cálcio, produto gerado na hidratação do cimento. Este material também produz C-S-H como o gerado pelo clínquer, aumentando as resistências do concreto e atua fisicamente, como ponto de

nucleação. Com isso, potencializa as reações, melhorando as propriedades da mistura.

### 2.3.4 DESCRIÇÃO DOS ESTADOS DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

#### CAA no estado fresco

É capaz defluir, auto adensar pelo seu próprio peso, preencher formas e passar por engastados, tendo a propriedade de manter sua homogeneização (não permitindo a segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento (ABNT NBR 15823-1:2010).

Com o material ainda fresco antes de sua aplicação deve-se passar por alguns testes, visando analisar sua principal característica a fluidez.

A Tabela 1 traz os aparelhos e uma breve descrição individual.

Tabela 1 - Aparelhagem para caracterização da fluidez/trabalhabilidade do CAA

Aparelhagem crucial para execução dos testes de determinação de um CAA.		
EQUIPAMENTO/ INSUMOS	DESCRIÇÃO	FONTE
Cone de Abrams	Confeccionado em chapa metálica de 1,5mm de espessura, com forma de tronco de cone com 300 mm de altura e bases abertas, sendo a inferior com 200mm e a superior com 100mm de diâmetro interno. Deve ser provido de aletas e alças, conforme. Figura 5	ABNT NBR MN 67
Placa de base	Serve para o apoio do molde (Cone de Abrams), é uma chapa quadrada de no mínimo 900mm de lado e com espessura de 1,5 mm pelo menos. Deve ser provida de três respectivas marcações circulares centralizadas com diâmetros de 100 mm, 200mm e 500 mm.	ABNT NBR 15823-2
Régua metálica	1000 mm, graduada. Figura 6	ABNT NBR 15823-2
Recipiente	Com capacidade mínima de 10 L, de material não reagente e não absorvente com os compostos do concreto, que permita despejar o concreto no molde de uma só vez.	ABNT NBR 15823-2
Complemento tronco-cônico	Metálico e adaptável à base superior do molde.	ABNT NBR 15823-2

Colher de pedreiro	Para retirada do excesso de concreto da superfície do cone	ABNT NBR 15823-2
Cronometro	Resolução mínima de 0,1 s	ABNT NBR 15823-2
Amostra	Tem que ser homogênea e representativa do lote de concreto em exame. Especificado pela ABNT NBR NM 33.	ABNT NBR MN 67
Anel J	Metálico, com 300 mm de diâmetro e 120 mm de altura, constituído verticalmente por barras de aço de 10 mm de diâmetro e espaçamento definidos pelo solicitante, desde que o espaçamento não seja maior que três vezes a dimensão máxima do agregado graúdo. Figura 12	ABNT NBR 15823-

Figura 5- Modelo de Cone Abrams



Fonte: <http://www.durhamgeo.com/testing/concrete/plastic-slump-test-comp.htm>

Figura 6 - Régua metálica



Fonte: <https://www.amazon.es/herramientas-medicion-distribucion/b?ie=UTF8&node=3049360031>

### **CAA no estado enrijecido**

Conforme Cavalcanti (2008), o Concreto Auto - Adensável (CAA) deve caracterizar-se em estado fresco e em estado enrijecido, ficando para a segunda atribuição uma análise mais criteriosa por parte do operador. O autor ainda afirma que o CAA pode ser aproveitado de forma segura nos subsídios estruturais; e que por mais que este tipo de concreto detenha dos mesmos elementos dos concretos convencionais, além de insumos químicos e minerais, há diferenças evidentes no desempenho de ambos os concretos, especialmente nos atributos do estado fresco.

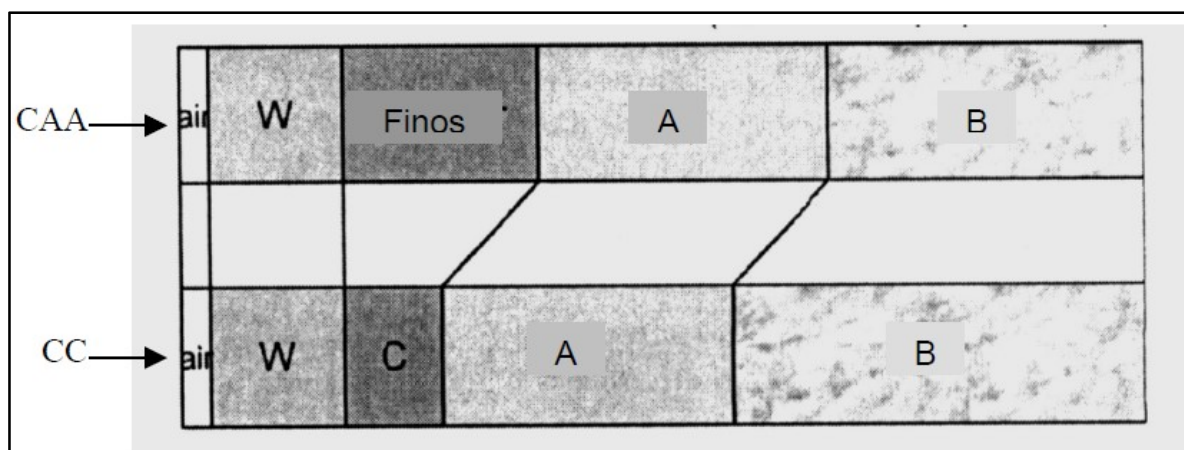
Para tanto, Lisboa (2004) expõe em sua dissertação que o CAA após incidir pelos ensaios no estado fresco por meio de corpos-de-prova cilíndricos, deve ser submetido à avaliações no estado endurecido, com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas do mesmo através de testes de Resistência à compressão, Módulo de deformação estática e Resistência à tração na compressão diametral, adotando as orientações instituídas nas Normas Brasileiras, NBR-5739/1994, NBR-8522/2003 e NBR-7222/1994, concomitantemente. As propriedades de autoadensabilidade do CAA devem ser examinadas, para avaliar que os benefícios aguardados no processo de execução do concreto sejam alcançados, as propriedades mecânicas do CAA também, a fim de acatar aos requisitos de resistência e durabilidade explicitados em determinados projetos (CAVALCANTI, 2008).

## 2.4. MÉTODOS DE DOSAGEM

A EFNARC(2001)apresenta os equipamentos de mistura e análise de misturas Auto adensável, que podem ser feitos com equipamentos simples e tradicionais da construção civil como; betoneira com misturadores de pás, misturadores de queda livre e betoneiras simples, porém são preferencialmente usadas os misturadores de ação de força. Para produções em grande escala é recomendável que seja feito ensaios preliminares do material a ser aplicado com os devidos traços pré-determinados conforme os requisitos e especificações da SCC 028 24 que abrange as propriedades desse insumo para o estado fresco e endurecido.

Para tanto, Alencar (2008), em seu trabalho explana sobre um dos principais métodos de dosagem, o do Japonês ordenado Okamura que foi o prenunciador da idéia e situou os conceitos fundamentais na tecnologia do CAA.Na figura 7, ‘air’ significa ar incorporado, ‘W’ significa água, ‘C’ é o consumo de cimento, ‘A’ significa o agregado miúdo (areia) e ‘B’ é o agregado graúdo (brita).

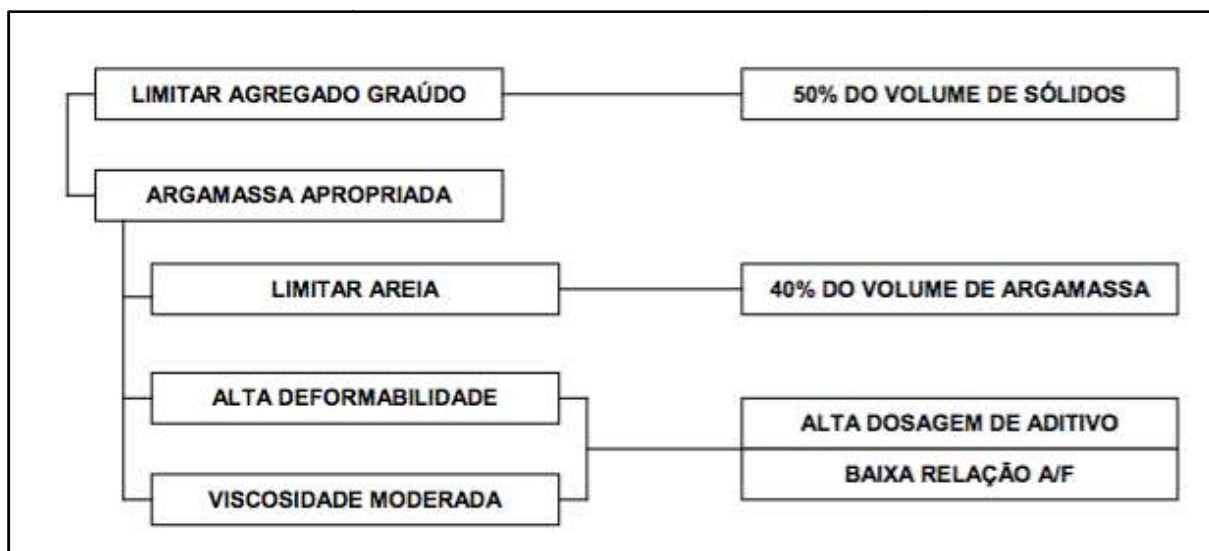
Figura 7 - comparação da proporção dos materiais do concreto convencional e auto-adensável



Fonte: OKAMURA e OUCHI, 2003, p.5

Alencar (2006) ainda descreve minuciosamente os as quatro etapas que constitui o método de Okamura, apresentando formulas e seguimentos para a obtenção de resultados por este. Na figura abaixo é apresentado um esquema que resume de forma objetiva o procedimento comentado.

Figura 8 - Esquema do fluxograma do método de dosagem de Okamura, adaptado por Alencar, 2008.



Fonte: Alencar, 2008.

O autor resume que, segundo Okamura, o CAA deve, portanto, apresentar Teor de agregado graúdo fixado em 50% do volume de sólidos, teor de agregado miúdo fixado em 40% em relação ao volume de argamassa, relação água / finos entre 0.9 e 1.0 e uma superdosagem do aditivo superplastificante.

Cavalcanti (2006) disserta sobre os avanços de pesquisa no Japão e principalmente nos países da Europa que levaram a EFRENAC a desenvolver parâmetros para um método de dosagem do CAA, mesmo reconhecendo que é um tipo de argamassa ainda em evolução. Através de propriedades já estudadas do CAA no estado fresco e visando atender suas principais peculiaridades como a capacidade de auto preenchimento, habilidade passante de passagem entre os obstáculos e resistência à segregação. Estes foram os critérios primordiais para classificar o CAA, individualidades devem ser respeitadas e cuidadosamente aferidas.

Essas propriedades são caracterizadas usando técnicas já conhecidas, a partir de equipamentos de ensaios 46 específicos para o CAA. Dentre os vários tipos de ensaios existentes, os mais utilizados são: Para caracterizar a capacidade de fluxo são recomendados os Ensaios de espalhamento "SlumpFlow Test" e Funil V (V-Funnel), e para a capacidade de passagem por obstáculos são recomendados o Caixa L (L-Box), Tubo em U e o Teste de auto-adensabilidade. Já para caracterização da resistência à segregação são adotados os ensaios do Funil V e o GTM. Na Tabela 01 são



apresentadas às faixas de valores típicos para o CAA adotados pela EFNARC. (CAVALCANTI, 2006).

Tabela 2 - Faixas para caracterização das propriedades de fluxo do CAA, adaptado por Cavalcanti, 2006.

Propriedades	Ensaio	Unidade	Faixas típicas dos parâmetros	
			Mínimo	Máximo
Capacidade de preenchimento de formas	Espalhamento cone de Abrams	mm	650	800
	T <sub>50cm</sub> cone de Abrams	seg.	2	5
	Funil V (V-Funnel)	seg.	6	12
	Orimet	seg.	0	5
Capacidade de passagem por obstáculos	Caixa L (L-Box)	(H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> )	0,8	1,0
	Tubo em U	(H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> ) mm	0	30
	Caixa de preenchimento	%	90	100
	Orimet c/ anel de armaduras	mm	0	10
Resistência à segregação	GTM	%	0	15
	Funil V em T <sub>5 minutos</sub>	seg.	0	+3

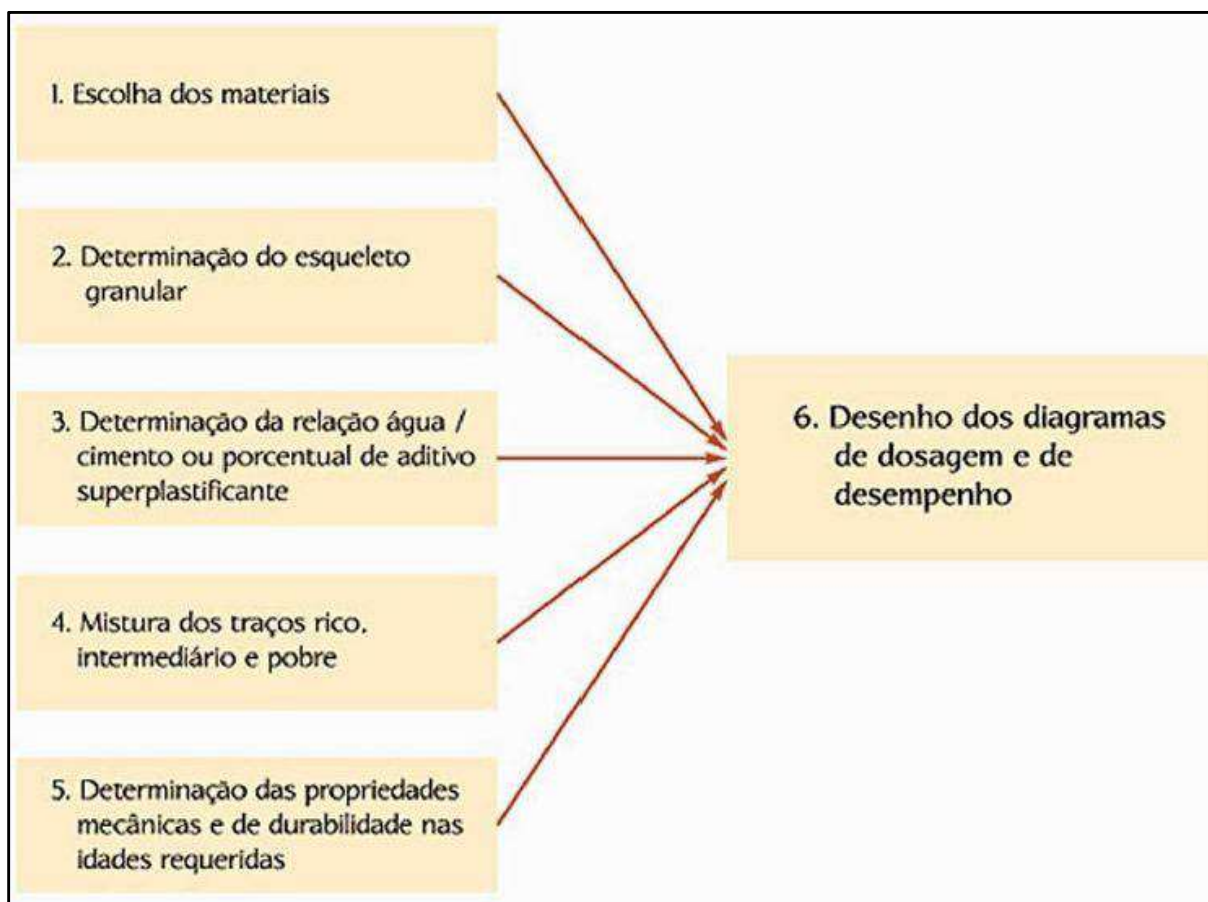
Fonte: EFNARC, 2002.

#### 2.4.1. Método De Dosagem Proposto Por Tutikian& Dal Molin (2007)

Este método de dosagem proposto pelos autores é o aperfeiçoamento do Método de Tutikian da sua tese dissertativa em 2004 junto a Engenheira Dr. Denise Dal Molin sua supervisora de tese que melhorou o Método de Tutikian no ano de 2007, com o intuito de propostas e realizações para melhores resultados.

Tutikian e Dal Molin utilizam de conceitos e métodos de outros autores como, Reilly em 1992, Larrard em 1999, que aprimora o empacotamento granular, escolha de materiais que visam empregar de variáveis em materiais finos por porcentagens distintas, assim, acrescentam-se pontos novos, como a junção de todas essas teorias. O método proposto pelos autores consiste em seguir o passo a passo, que engloba desde a escolha dos materiais, rompimento dos corpos de prova, inclusão da curva de custo no diagrama de dosagem e o diagrama de desempenho onde os autores apresentam a seguir na Figura 9 do diagrama para composição do CAA.

Figura 9: Passo a Passo para dosagem de CAA com o método Tutikian & Dal Molin (2007)



Fonte: TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2007.

2.4.2. Ensaios para determinação das características do concreto Auto Adensável no estado fresco de acordo com a norma 15823:2010.

Estes ensaios foram desenvolvidos na Universidade de Tóquio na determinação do método de OKAMURA, no ano de 1988.

A NBR 15823:2010 - estabelece os requisitos para classificação, controle e aceitação do CAA no estado fresco, bem como define e estabelece limites para as classes de auto adensibilidade e prescreve os ensaios para verificação das propriedades desse tipo de concreto.

Para aceitação de norma e realização de testes para CAA em função da fluidez e viscosidade plástica aparente fluidez e viscosidade plástica aparente, segundo esta NBR deve-se avaliar pelos ensaios:

1. Para fluidez e viscosidade aparente, pode se realizar o ensaio de espalhamento e t500 - previstos na NBR 15823-2 ou método do funil V -previsto na NBR 15823-5;

2. Para análise da habilidade passante pode se avaliar pelos ensaios utilização do anel-J - conforme a NBR 15823-3; ou método da caixa L -previsto na NBR 15823-4;

#### 2.4.3. Ensaio De Espalhamento (SlumpFlow Test)

O ensaio de espalhamento SLUMP FLOW TEST, é o ensaio padrão para o CCV e também é utilizado para conferir a capacidade de preenchimento do CAA, pela força provocada pelo seu próprio peso, para atingir determinada dimensão e tempo estimado, ele está diretamente relacionado com a sua fluidez (GOMES, BARROS, 2009).

O ensaio de abatimento do tronco de cone consiste em uma haste desocamento e um cone Abrams, de 300mm de altura por 100mm de diâmetro no topo e 200mm de diâmetro na base. Os procedimentos para realização deste ensaio consistem em preencher o tronco com concreto e após suspender lentamente o cone, o concreto abate-se com seu próprio peso, no entanto com o cronometro ligado, marca-se os segundos em que o CAA atingir a marcação na chapa metálica e após mede-se a altura e o espalhamento da mistura. A figura 12 demonstra o esquemático do ensaio de SLUMP FLOW TEST.

Segundo Melo (2005), este tipo de ensaio é determinado pela capacidade de preenchimento ou deformidade apresentada pelo CAA influenciado apenas por seu próprio peso. Por sua vez o concreto é depositado no cone de Abrams, que ao ser retirado deve se espalhar uniformemente, e com as medidas dos diâmetros das duas direções perpendiculares é feita a media e a retirada dos resultados.

Este ensaio é uma preliminar para a caracterização do CAA (Figura 10 e 11– *Slumpflow test* sendo executado)

Figura 10 - Cone de Abrams já preenchido.



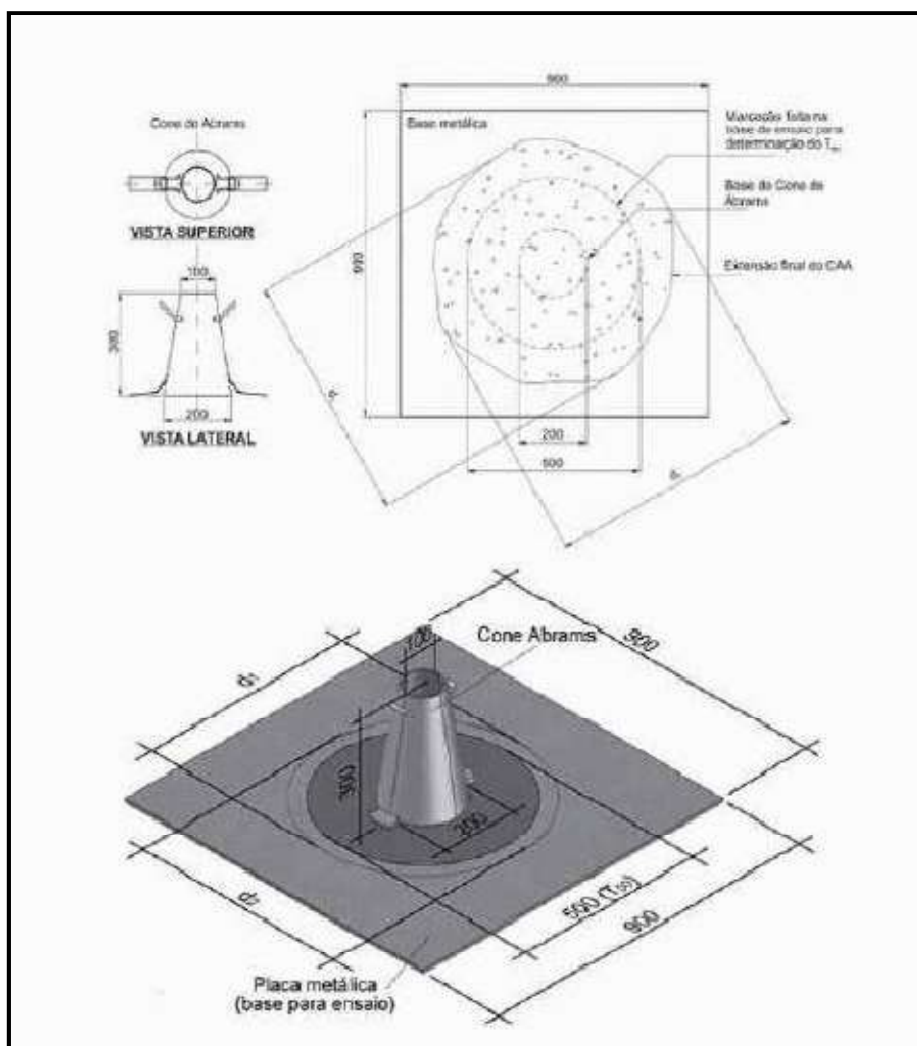
Fonte: RAMBO, 2009.

Figura 11 - Escoamento ocorrido após o içamento do cone.



Fonte: RAMBO, 2009.

Figura 12 - SlumpFlow test



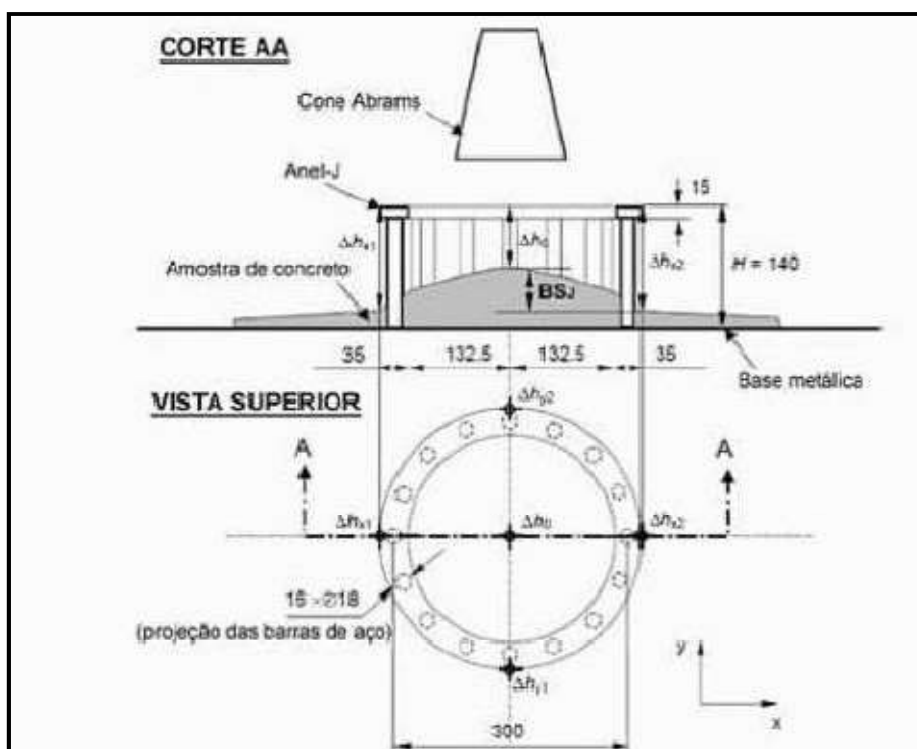
Fonte: GOMES, BARROS, 2008.

#### 2.4.4. Ensaios Do Anel-J (Ring Test)

O ensaio de Cone de abrams – não proporciona uma medida direta para avaliar a habilidade passante de o CAA passar entre as armaduras e devido a esta necessidade de análise do CAA fluir entre as barras de aço, propuseram a junção de dois tipos de testes, sendo estes, o de Cone Abrams juntamente com o um anel, denominado Ane-J. (SCHUTTER, 2005).

Este ensaio Anel-J tem como objetivo medir os parâmetros do CAA ainda em estado fresco, pela extensão do seu fluxo, tempo passante e indica o teor de deformabilidade dentro de uma distância definida. A figura 8 demonstra o esquemático do ensaio.

Figura 13 - Anel – J (Ringtest)



Fonte: GOMES, BARROS, 2008.

Mensura a trabalhabilidade do concreto, sua capacidade de escoar pela placa base e passar pelas barras verticais do equipamento. Neste se determina a habilidade passante, e ao se utilizar um concreto tipo CAA é esperado que o material escoe uniformemente, sem sofrer segregação e com obstrução desprezível.

Figura 14 -Modelo Anel J



Fonte: [http://www.abcic.org.br/anuario\\_2011/files/assets/basic-html/page124.html](http://www.abcic.org.br/anuario_2011/files/assets/basic-html/page124.html)



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Programa Experimental

A seguir serão descritas as etapas e processos para obter um CAA, respeitando a NBR 15823(2010) e embasando a pesquisa em estudos da EFNARC enas NP EN 12350 (2010).

O trabalho proposto é de caráter experimental e será realizado em 4 etapas que serão executadas em sequência e estão descritas a seguir. Os ensaios serão realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas.

**1º ETAPA** - revisão bibliográfica: toda parte de pesquisa e levantamento de dados para o estudo em questão, onde foram analisadas pesquisas recentes sobre o assunto e serão definidos parâmetros para a determinação dos resultados.

**2º ETAPA** - Obtenção do traço de concreto convencional, usado como referência, pelo método ACI Seven Steps Method.

#### **3º ETAPA**—Execução dos ensaios

- Caracterização dos materiais: ensaios laboratoriais para a caracterização física dos materiais utilizados.
- Ensaios laboratoriais: fase onde serão realizados ensaios do concreto no estado fresco e endurecido para a obtenção dos parâmetros.

**4º ETAPA** - análise e discussão dos resultados: compreende a avaliação e discussão dos resultados obtidos na etapa anterior.

#### 3.2 Dosagem do Traço de Referência

Dosagem do concreto é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis. Neste sentido, este trabalho avalia o desempenho de traço para a dosagem de concretos com resistência à compressão axial de 25MPa, pelo método de dosagem ACI 211.1-91 (2005). (American Concrete Institute).

O método ACI Seven Steps Method é composto de 7 etapas abaixo representadas em sua ordem de execução (Memorial de Cálculo em Anexo):

1. Escolha do abatimento;
2. Escolha do Ø máximo do agregado graúdo;
3. Estimativas dos teores de água e Ar incorporado

4. Estimativa do fator água/cimento
5. Cálculo de teor de cimento
6. Cálculo de teor de agregado Graúdo
7. Cálculo do agregado miúdo

### 3.2.1 Traço de Referência

Depois de calculados os 7 passos do método chegou-se ao seguinte traço de referência em massa também denominado de T-0 mostrado na tabela 3.

Tabela 3: Dosagem do traço de referência T-0

Materiais	Relação em massa	Quantidade (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	1	397,28
Agregado Miúdo	1,95	774,06
Agregado Graúdo	2,45	972
Água	0,516	205

### 3.3 Variáveis

As variáveis dependentes foram escolhidas de acordo com os ensaios necessários para a caracterização das propriedades físico-mecânica do concreto em estudo.

- a) Ensaios no estado fresco, Tabela 4;
- b) Resistência à compressão simples; rompimento na prensa mecânica com CP na vertical.
- c) Densidade e massa específica aparente (NBR 9833/2008).

Tabela 4 - Ensaios no Estado Fresco realizados nesta pesquisa

Possíveis ensaios no estado fresco	
Metódo <i>Slumpflow test</i>	Espalhamento e tempo de escoamento
Anel J	Determinação da habilidade passante

Fonte: Autor, 2017.

### 3.4 Parâmetros Fixos

- a) Tipo de cimento: CII - Z



- b) Método de Dosagem, detalhado minuciosamente no item a seguir (Item 3.2 Métodos de Dosagem).

### 3.5 - Dosagem do CAA

Sabe-se que a dosagem do CAA depende das quantidades respectivas dos materiais finos e da água, portanto, para obter-se o modo mais econômico as suas características mínimas de consistência, resistência e durabilidade desejada precisará de um fator água/cimento equilibrado, esse fator é drasticamente reduzido nesse tipo de concreto ao se adicionar o superplastificante que tem a propriedade de dispensar parte dessa água no instante da dosagem. A tabela 5 traz o traço de CAA utilizado nesta pesquisa. O método experimental proposto consiste em gerar auto adensibilidade a partir de um traço referência dosado pelo método do ACI 211.1-91 (2005). A partir do traço de referência foram feitos testes de dosagem até que se chegasse ao traço de CAA, através da adição do aditivo plastificante – a partir da orientação do fabricante - e da sílica ativa como filler, com teor inicial de 5% como sugere Hoffman (2008). O traço de referência foi, então, transformado em um CAA, com um teor final de 8%.

Tabela 5 - Dosagem do traço de CAA

Materiais	Relação em massa	Quantidade (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	1,00	460
Agregado Miúdo	1,57	722
Agregado Graúdo	2,19	1007
Sílica Ativa	0,08	36,80
Aditivo	0,012	5,52
Água	0,38	147

Fonte: Autor, 2017.

Foram feitos 2 traços testes. Inicialmente, como sugerido por Hoffman (2008), com 5% de adição de sílica ativa. Não atendendo à consistência almejada, foi adicionado o equivalente a 1% a mais, ou seja, 6% de adição. Ainda não tendo uma trabalhabilidade satisfatória, um novo traço com adição de 8% foi feito, alcançando, assim, a consistência esperada. A relação água cimento foi dada de forma empírica a fim de que se chegasse a uma trabalhabilidade satisfatória.

### **3.6 – Produção dos Corpos de Prova**

As produções dos corpos de prova serão realizadas de acordo com a NBR15823:2010, específica de Concreto Auto Adensável fresco, onde serão confeccionados nove corpos de prova para cada traço, para serem rompidos três em cada idade com o objetivo de representar estatisticamente os resultados a serem alcançados dentro das seguintes idades, 7, 28 e 63 dias, entretanto, devido ao tempo limitado, o presente trabalho apresentará resultados para as idades de 3, 7 e 28 dias.

Para a moldagem dos CP's serão utilizados os cilíndricos de dimensões 100 mm x 200 mm segundo a NBR 5738/2015 que prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto utilizados nos ensaios de compressão e de tração por compressão, neste caso, a moldagem sem vibração ou compactação interna apenas fluindo e após as curas determinadas haverá o rompimento do CAA curado nas idades requeridas.

### **3.7 – Ensaios de Resistência à Compressão**

Após a moldagem dos traços determinados e a composição dos corpos de prova nas idades determinadas devem-se romper os CPs na prensa mecânica para a composição do desenho do diagrama, para o cálculo das equações de comportamento e coeficientes de correlação.

## 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

### 4.1 Materiais utilizados e suas propriedades

Para o desenvolvimento do trabalho foram adotados materiais disponíveis na região de Palmas/TO

#### 4.1.1 Cimento

Foi utilizado o cimento Portland tipo CP-II-Z, Cimentos Planalto – CIPLAN.

#### 4.1.2 Areia

Foi utilizada areia da região de Palmas doada pela empresa Castelo Forte Materiais para Construção extraída pela Mineração Capital. Suas características podem ser observadas na tabela 6 e sua curva granulométrica no gráfico 1.

Tabela 6 - Características físicas da areia.

Características físicas da areia	
Massa específica (NBR NM 52:2009)	2660kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1420 kg/m <sup>3</sup>
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	1,2mm
Classificação (NBR 7211:2009)	Zona Utilizável Inferior

Fonte: Autor, 2017.

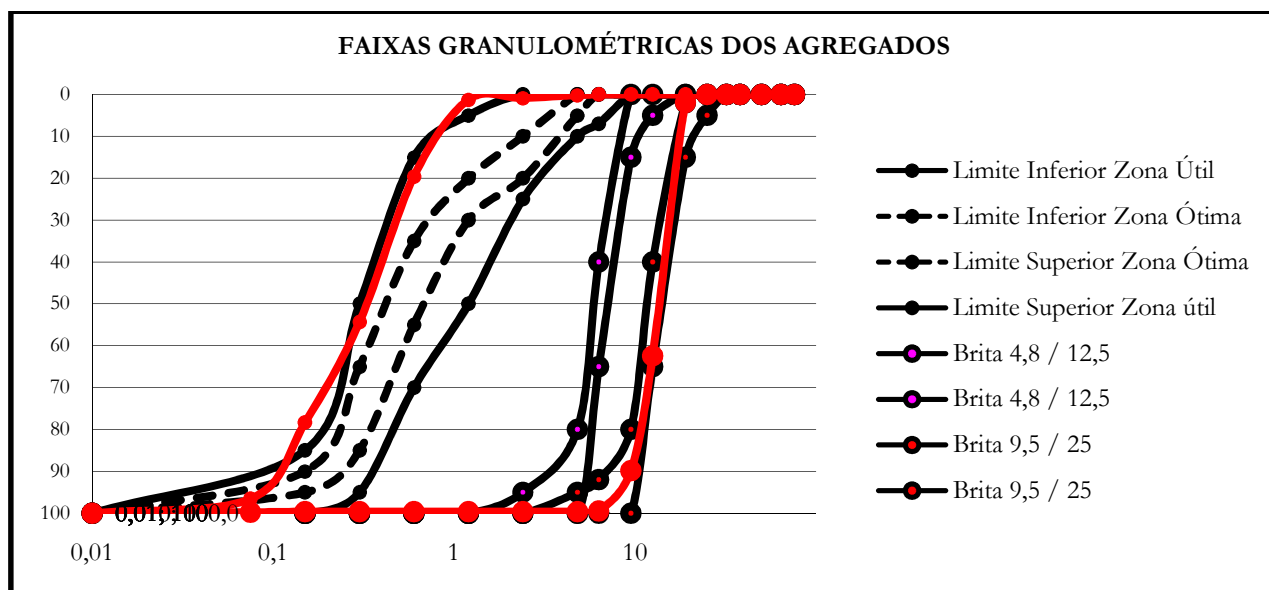
#### 4.1.3 Brita

A brita utilizada foi doada pela empresa Castelo Forte Materiais para Construção, suas características estão dispostas na tabela 7 e sua curva granulométrica no gráfico 2.

Tabela 7 - Características físicas da brita.

Características físicas da brita	
Massa específica (NBR NM 53:2009)	2710kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1350kg/m <sup>3</sup>
Dimensão máxima característica (NBR NM 248:2003)	19,0mm
Classificação (NBR 7211:2009)	Brita 01
Classificação geológica	Granítica

Fonte: Autor, 2017.



**Gráfico 1:** Curva granulométrica dos Agregados

As curvas vermelhas representam o comportamento granulométrico dos agregados utilizados no presente trabalho. Para a areia, as curvas pretas contínuas representam os limites inferior e superior da zona utilizável, já as curvas pontilhadas representam os limites para a zona ótima. Portanto, a areia utilizada encontra-se na zona utilizável inferior com módulo de finura igual a 1.55.

Para a brita, as curvas pretas representam as zonas granulométricas ( $d/D$ ). Conclui-se que o material enquadra de forma análoga sua visualização, ficando entre a grade 0 e 1, no entanto nosso material aproxima-se mais da brita 1.

#### 4.1.4 Aditivo superplastificante

O aditivo utilizado foi Plastol 6040 da empresa Viapol. As características técnicas do aditivo utilizado nesta pesquisa podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8– Características Técnicas do Aditivo Utilizado

<b>Ação principal:</b>	<b>Aditivo Superplastificante tipo II (SP-II R) – (Hiperplastificante)</b>
Ação secundária	Redutor de água de amassamento (A/C)
Composição	Solução de Policarboxilatos em meio aquoso
Aspecto	Líquido
Cor	Levemente amarelada
Massa específica	$\cong 1,1 \text{ g/cm}^3$
Teor de cloretos	Não contem cloretos

Fonte: <http://www.viapol.com.br/produtos/novo-aditivos/aditivos-para-concreto/aditivos-superplastificantes-tipo-sp-ii/plastol-6040/>

#### 4.1.5 Sílica Ativa

A sílica ativa utilizada foi fornecida pela empresa Silmix, sendo um subproduto do processo de fabricação do silício metálico ou do ferro-silício - gás  $\text{SiO}$ , ao sair do forno, oxida-se, formando o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Segundo o fornecedor as características físicas e químicas da sílica ativa utilizada são: massa específica de  $2222 \text{ kg/m}^3$ ; formato de partícula esférica; diâmetro médio  $0,2 \mu\text{m}$ ; teor mínimo de  $\text{SiO}_2$  de 85%; e umidade máxima de 3%.

### 4.1 Propriedades no estado fresco

Os resultados obtidos nos ensaios no concreto no seu estado fresco estão presentes na tabela 9.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios no estado fresco

<b>Ensaio</b>	<b>Resultado (mm)</b>
Slump Teste	100
SlumpFlow Teste	530 (em 3 segundos)
Anel J	560 (em 4 segundos)

Fonte: Autor, 2017.

A figura 15 mostra o ensaio de slump teste realizado no traço de concreto convencional.

Figura 15 - Slump Test



Fonte: Autor, 2017.

As figuras 16 e 17 mostram o ensaio de slumpflowtest e Anel J realizado no CAA dosado nesta pesquisa.

Figura 16–SlumpFlow Test



Fonte: Autor, 2017.

Figura 17 – Ensaio Anel J



Fonte: Autor, 2017

Ambos os ensaios foram executados segundo as NBR 15823-2 e 15823-3: 2010.

#### 4.2 Resultados de resistência

Para os ensaios de resistência à compressão foram moldados 6 corpos de prova conforme figura 18. As tabelas 10, 11 e 12 abaixo apresentam os resultados das resistências dos dois traços elaborados nesta pesquisa nas idades de 3, 7 e 28 dias.

Figura 18 - Corpos de Prova para Ensaio de Compressão



Fonte: Autor, 2017.

A tabela 10 nos mostra o resultado dos ensaios de resistência à compressão. Observa-se que aos 3 dias o CAA teve resistência superior ao concreto convencional, pode-se também observar que o desvio padrão do e o coeficiente de variação do concreto convencional foi menor que o do CAA.

Tabela 10 - Resultados de Resistência à Compressão 3 dias

TRAÇO	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP - 1	CP - 2			
<b>CONVENCIONAL</b>	16,90	16,20	16,60	0,49	2,99
<b>CAA</b>	18,00	19,20	18,62	0,87	4,67

Fonte: Autor, 2017.

A tabela 11 nos mostra o resultado dos ensaios de resistência à compressão, bem como os dados estatísticos obtidos no ensaio. Observa-se que aos 7 dias o CAA teve resistência superior ao concreto convencional, pode-se também observar que aos 7 dias o desvio padrão do e o coeficiente de variação do concreto convencional foi agora maior que o do CAA.

Tabela 11 - Resultados de Resistência à Compressão 7 dias

TRAÇO	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP - 1	CP - 2			
<b>CONVENCIONAL</b>	22,40	21,00	21,71	1,01	4,67
<b>CAA</b>	22,00	22,20	22,08	0,11	0,52

Fonte: Autor, 2017.

A tabela 12 mostra o resultado dos ensaios de resistência à compressão, bem como os dados estatísticos obtidos no ensaio.

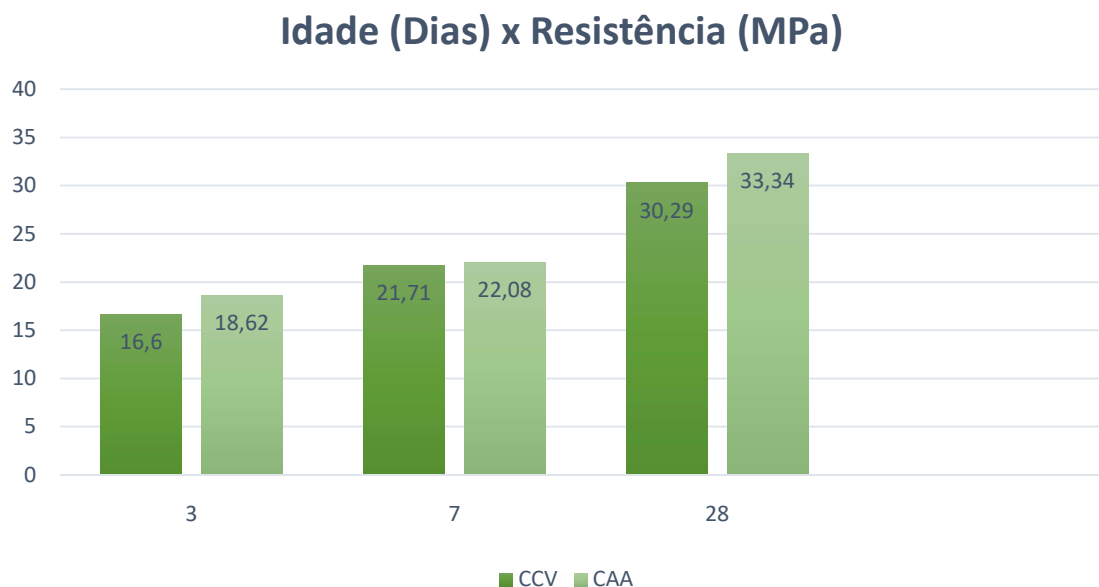
Tabela 12 - Resultados de Resistência à Compressão 28 dias

TRAÇO	Corpos de Prova (MPa)		Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
	CP - 1	CP - 2			
<b>CONVENCIONAL</b>	31,30	29,30	30,29	1,39	4,61
<b>CAA</b>	32,80	33,90	33,34	0,82	2,47

Fonte: Autor, 2017.



Observa-se que aos 28 dias o CAA teve resistência superior ao concreto convencional, pode-se também observar que aos 28 dias o desvio padrão e, evidentemente, o coeficiente de variação do concreto convencional foram maiores do que os do CAA.



Fonte: Autor, 2017.

A diferença entre as resistências não foi considerável mesmo com fator água cimento discrepante e adição de sílica ativa, possivelmente por se tratar de um método experimental então os teores tanto de aditivos e de sílica, apesar de terem sido eficazes na trabalhabilidade do concreto, podem ter interferido no ganho de resistência.

#### 4.3 Comparativo de custo dos concretos

As tabelas 13 e 14 nos mostram o custo por m<sup>3</sup> do CCV e CAA - a partir de cotações realizadas na região de Palmas – TO.

Tabela 13 - Custo CAA por m<sup>3</sup>

<b>Materiais</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total Item (R\$)</b>
Cimento	0,56	460	256,04
Agregado Miúdo	0,05	722	36,10
Agregado Graúdo	0,12	1007	120,84
Sílica Ativa	1,20	36,80	44,16
Aditivo	32	5,52	176,64
Água	0,01	147	1,72
<b>Total (R\$)</b>			<b>635,50</b>

Fonte: Autor, 2017

Tabela 14 - Custo CCV por m<sup>3</sup>

<b>Materiais</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total Item (R\$)</b>
Cimento	0,56	397,28	222,48
Agregado Miúdo	0,05	774,06	38,70
Agregado Graúdo	0,12	972	116,64
Água	0,01	205	2,40
<b>Total (R\$)</b>			<b>380,22</b>

Fonte: Autor, 2017

Os preços dos agregados e do cimento foram cotados na empresa “Castelo Forte Materiais de Construção” em Abril de 2016 na cidade de Palmas -TO. Pode-se observar que o CAA apresentou custo mais elevado do que o CCV, isto está relacionado ao maior consumo de ligantes, tanto cimento, quanto a sílica ativa, além da utilização do aditivo superplastificante, pois o CAA requer uma maior quantidade de finos a fim de que se chegue a uma trabalhabilidade ideal, entretanto esta é uma análise quantitativa dos materiais utilizados, custos operacionais são reduzidos na aplicação do CAA, como por exemplo, redução na quantidade de operadores na concretagem, por não haver necessidade de espalhar e vibrar o concreto. Sendo o CAA um CAD, sua aplicação sempre será específica ao desempenho da alta trabalhabilidade.

O custo relacionado acima se refere apenas aos materiais utilizados nesse projeto, para uma análise de custo benefício seria necessária a avaliação de outras variáveis. Porém, por se tratar de concretos com faixas de resistências próximas, é natural que o CAA possua custo elevado em relação ao CCV.

#### **4.4 Absorção de Água**

Neste trabalho foi determinada a absorção de água por imersão de acordo com a NBR 9778: 2009. O ensaio consiste em secar o corpo de prova em estufa por 24h a uma temperatura de  $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , pesar a amostra seca e em seguida imergir a amostra por 72h – 1/3 do volume por 4 horas, 2/3 por mais 4 horas e o volume total pelas 64 horas restantes. Realizar a pesagem da amostra saturada em 24h, 48h e, finalmente, 72h.

Tabela 15 - Resultados de Absorção de Água

TRAÇO	Absorção de Água (%)
CONVENCIONAL	6,8
CAA	6,2

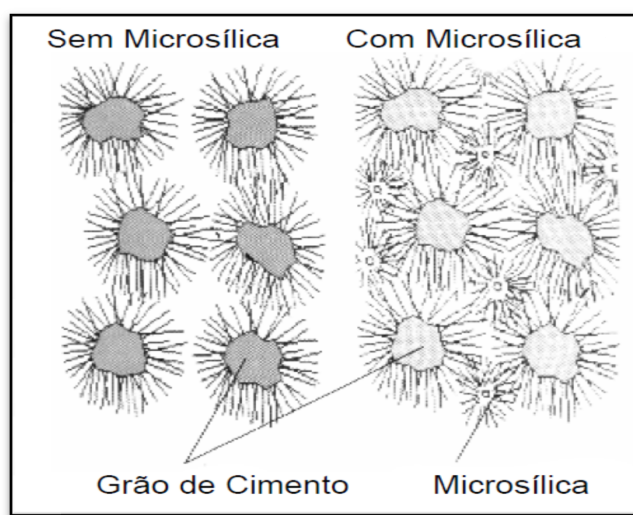
Fonte: Autor, 2017

O teor de absorção é determinado pela equação:

$$\frac{M_{sat} + M_{seco}}{M_{seco}} \times 100 \quad (5)$$

Assim como no resultado de resistência à compressão, cuja diferença foi mínima, na absorção de água a diferença também foi mínima, ficando o CAA com menor absorção de água que o CCV, esse resultado deve-se a resistência maior do CAA, logo um concreto com menor índice de vazios e, portanto, com maior durabilidade.

Figura 19 - Efeitos da Sílica na microestrutura do concreto



Fonte: NETO, 2008.

Essa diferença pode ser também atribuída a incorporação de sílica ativa no CAA, pois a sílica – detentora de baixíssima granulometria - preenche os vazios deixados pelo cimento conforme vemos na figura 18, a tabela 15 traz os resultados do ensaio de absorção de água desta pesquisa.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o bom entendimento da proposta desta pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica específica sobre o tema e uma série de ensaios sobre os agregados e sobre os concretos produzidos com os mesmos. Foram analisados os agregados e propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido produzidos.

Os resultados mostraram que apesar da abordagem empírica utilizada ser mais intuitiva, ela não é adequada para um CAA. Mesmo o CAA dosado ter apresentado propriedades satisfatórias em seu estado fresco, atendendo aos quesitos de trabalhabilidade e habilidade passante.

Em relação às resistências mecânicas, houve pouquíssima diferença entre elas, mesmo com fator água cimento discrepante e adição de sílica ativa. Possivelmente, por se tratar de um método experimental - empírico ao invés de um método racional já existente. Então os teores, tanto de aditivos e de sílica, apesar de terem sido eficazes na no estado fresco desse concreto, não influenciou no comportamento de ganho de resistência como se esperava.

O custo superior desse concreto quando analisados apenas os materiais já é previsto, porém para uma avaliação de custo-benefício e viabilidade é necessário considerar outras variáveis, como, mão de obra, tempo de execução, economia de equipamentos entre outros.

Quanto à absorção de água o CAA atendeu às expectativas e sobressaiu-se em relação ao CCV, pois o menor fator a/c e a utilização de sílica ativa ajudaram a confecção de um concreto com menos poros, consequentemente este concreto absorve um valor menor de água.

As sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar uma substituição maior do cimento por sílica;
- Estudar a substituição por um fino não pozzolânico (Areia, resíduos de construção);
- Verificar a produção de CAA com materiais regionais (reduzir custos);
- Avaliar os aspectos de durabilidade de CAA vs CCV.

## 6. REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_**NBR 10786:** Concreto endurecido - Determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_**NBR 15823:** Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15823:** Concreto auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do Cone de Abrams. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15823:** Concreto auto-adensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método Anel J. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 14724:** informação e documento trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_**NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_**NBR 10007:** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo de. **Dosagem do concreto auto-adensável: Produção de pré-fabricados**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Cap. 2.

Associação Brasileira de Cimento Portland. BT 106: guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2002.

BACARJI, Edgar; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; NAVES, Leonardo Mendes. Technical viability of self-compacting concretes with by-products from crushed coarse aggregate production. **Rem, Int. Eng. J.**, [s.l.], v. 69, n. 3, p.265-271, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015690119>. Acesso em 21 de fevereiro de 2017

BATTAGIN, A.F, 2017. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>. Acesso em 16 de maio de 2017.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CASTRO, A. L. de; PANDOLFELLI, V. C.. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na

construção civil. **Cerâmica**, [s.l.], v. 55, n. 333, p.18-32, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132009000100003>.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do Concreto Autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

**CONSTRU CHEMICAL**. São Paulo: Angelo, 2014.

COUTINHO, S. Bianca. **PROPRIEDADES E COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

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

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como Adição para a produção de Concretos**. 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

JARDEL PEREIRA GONÇALVES (Rio de Janeiro). **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto**. 2002. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3411/1824>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

LISBOA, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do Concreto Auto adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 144 f. Tese (Doutorado) -Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

LISBÔA, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do Concreto auto adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto:Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

MELO, Karoline Alves de. **Contribuição à Dosagem de Concreto Auto-adensável com Adição de Filer Calcário**. 2015. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MILA, Marcos. **Evolução e Qualidade no Processo Construtivo**. 2014. Disponível em: <<http://www.construchemical.com/edicao/16/files/assets/common/downloads/publication.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

NAKAMURA, Juliana. **Aditivos e Adições**. 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/150/artigo286634-2.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2016

NEVES, Idercio França Das. Materiais de construção: **Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum**. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NUNES, S. C. B. **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades**. 2001. 198 p. Pós-graduação em Estruturas de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2001.

NETO, Valentim Capuzzo. Notas De Aula Do Curso Técnico Em Edificações:**Controle Tecnológico. Modulo IV**. Apostila Revisada e Ampliada. Escola Técnica Federal de Palmas, 2008.

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

RAMBO, Dimas Alan Strauss. **Estudo da Trabalhabilidade do Concreto Auto adensável**. 2009. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 1991.

TUTIKIAN, B.F **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo; MOLIN, Denise Carpenadal. **Concreto auto adensável**. SÃO PAULO: Pini, 2008.

SIDERIS, K.k.; MANITA, P.. Influence of length and dosage of polypropylene fibres on the spalling tendency and the residual properties of self-compacting concrete after heated at elevated temperatures. **Matec Web Of Conferences**, [s.l.], v. 6, p.1-7, 2013. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130602004>.

VON PAUMGARTTEN, Mariana Domingues. **Concreto Auto-adensável com Materiais Encontrados na Região de Belém**. 2010. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**, WalidYazigi. 7ª Ed. São Paulo, PINI, 2006.

YEHIA, Sherif et al. Mechanical and durability evaluation of fiber-reinforced self-compacting concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 121, p.120-133, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.127>.

## ANEXO

Memorial de cálculo do traço de referência desta pesquisa:

Dados:

Modulo de Finura: 1,8

Fck: 25MPa

Sd: 4MPa

$\gamma_c = 3150 \text{ Kg/m}^3$

$\gamma_a = 2660 \text{ Kg/m}^3$

$\gamma_b = 2710 \text{ Kg/m}^3$

$\delta_b = 1350 \text{ Kg/m}^3$

$\phi_{\max} = 19 \text{ mm}$

**1º Passo** – Abatimento

$90 \pm 10 \text{ mm}$

**2º Passo** – Diâmetro máximo característico Ag. Graúdo:

$\phi_{\max} = 19 \text{ mm}$

**3º Passo** – Consumo de água e teor de ar

H<sub>2</sub>O = 205L/m<sup>3</sup>; ar = 2%

**4º Passo** – Relação a/c

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (1)$$

$\therefore f_{cj} = 31,60 \text{ Mpa} \therefore a/c \approx 0,516$

**5º Passo** – Consumo de Cimento

$$CC = \frac{H_2O}{a/c} \quad (2)$$

$\therefore CC = 397,28 \text{ Kg/m}^3$

**6º Passo** – Teor de Brita

$$0,72 \times \delta_b \quad (3)$$

$\therefore M_b = 972 \text{ Kg/m}^3$

**7º Passo** – Teor de Areia

$$1m^3 \text{ de concreto} = V_c + V_b + V_a + V_{H_2O} \quad (4)$$



$$V_a = 1 - (V_c + V_b + V_{H_2O}) \therefore V_a = 771,06 \text{ Kg/m}^3$$