

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANE CARDOSO GONÇALVES DE OLIVEIRA

MÁRCIA JANAÍNA ARAÚJO DE OLIVEIRA

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

AUTOADENSÁVEL

ANÁPOLIS / GO

2018

**ADRIANE CARDOSO GONÇALVES DE OLIVEIRA
MÁRCIA JANAÍNA ARAÚJO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, ADRIANE CARDOSO G. DE/ OLIVEIRA, MÁRCIA JANAÍNA A. DE

Estudo das Propriedades do Concreto Autoadensável

83P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Concreto Autoadensável | 2. Autoadensabilidade |
| 3. Propriedades do concreto | 4. Trabalhabilidade |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10º) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Adriane Cardoso G. de; OLIVEIRA, Márcia Janaína A. de. Estudo das propriedades do concreto autoadensável. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 83p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOMES DOS AUTORES: Adriane Cardoso G. de Oliveira

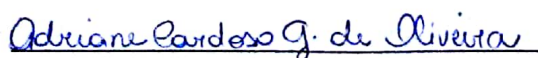
Márcia Janaína A. de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo das propriedades do concreto autoadensável.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

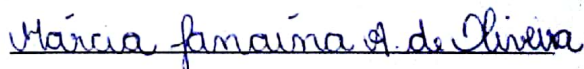
ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Adriane Cardoso G. de Oliveira

E-mail: adriane Cardoso_@hotmail.com



Márcia Janaína A. de Oliveira

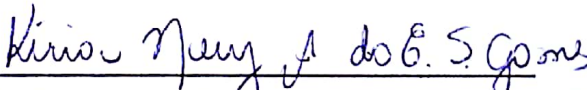
E-mail: marcia-oliveira14@hotmail.com

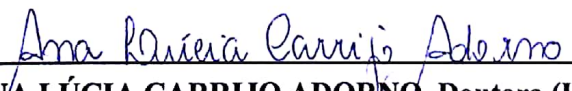
ADRIANE CARDOSO G. DE OLIVEIRA
MÁRCIA JANAÍNA A. DE OLIVEIRA

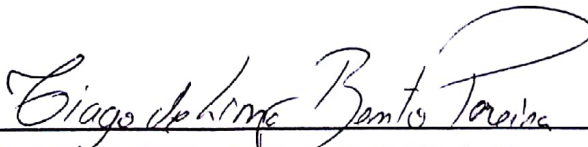
**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)


ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEvangélica)
(EXAMINADORA INTERNA)


TIAGO DE LIMA BENTO PEREIRA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 05 de JUNHO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus. Seria impossível começar de uma maneira diferente, já que tudo o que acontece em minha vida é para honra e glória d'Ele. Agradeço pelo fôlego de vida, por renovar a sua misericórdia comigo a cada manhã e por me dar sabedoria para vencer mais essa jornada.

Ao meu esposo Thiago, por partilhar os sonhos comigo, tendo carinho e principalmente paciência. Dando segurança e paz nos momentos difíceis, sempre com uma palavra de motivação para que eu não desistisse no meio do caminho.

À minha parceira Márcia, por toda dedicação, esforço e empenho que sempre teve. Agradeço por ser tão prestativa comigo, não somente nesse trabalho, mas durante todos esses anos. Com certeza esse percurso teria sido mais difícil sem sua presença ao meu lado.

À orientadora Kíria, a qual não tivemos nenhuma dúvida na escolha. Obrigada pela dedicação em ensinar e nos acalmar nos momentos de desespero.

Aos meus amigos de Curso, pela amizade e companheirismo. Por cada momento de alegria que me foi proporcionado, tornando essa caminhada mais leve.

Sou grata pela empresa Laje Leve, por me entender e apoiar nos períodos em que precisei me ausentar para estar executando a parte experimental deste projeto.

Às minhas amigas, Amanda, Daniela, Francielly e Jully Anne. Não poderia deixar de citá-las. Assim como minha Pastora Gabriela, por cada oração e preocupação comigo. Agradeço a Deus por colocar as melhores pessoas na minha vida, pois mesmo distantes sempre foram meu alicerce.

Enorme gratidão também pelo engenheiro Bernardo Porto, da empresa Realmix, assim como por sua equipe, pela suma importância na realização deste projeto. Agradeço por nos receberem e ensinarem com tamanho profissionalismo e disposição, dedicando uma parte de seus tempos para que se tornasse possível a conclusão deste trabalho.

Adriane Cardoso G. de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo a Deus, por ter me conduzido até aqui e não ter permitido que eu desistisse mesmo com todos os desafios e dificuldades.

Agradeço aos meus pais, por terem me apoiado durante toda a minha trajetória, por todo empenho, dedicação e sacrifícios para que eu chegasse até aqui. Agradeço ainda por cada palavra de carinho, incentivo, pelas repreensões e por me ensinarem o verdadeiro valor da vida.

Agradeço aos meus irmãos, por terem acreditado em mim e não terem poupado esforços para que eu pudesse realizar todos os meus sonhos.

Ao meu namorado que esteve ao meu lado em cada dia desses cinco anos, pela motivação, por toda paciência e por sempre acreditar que eu conseguiria.

Aos meus amigos, familiares e aos meus professores que estiveram comigo na minha vida acadêmica, pessoas as quais sempre torceram por mim.

À Adriane Cardoso, pela amizade e companheirismo. Deus em sua infinita bondade nos fez parceiras neste árduo trabalho, não poderia ter sido alguém melhor.

À nossa orientadora Kíria Nery, por todos os ensinamentos, dedicação e disposição em ter nos atendido sempre que precisamos.

Agradeço especialmente à empresa Realmix, ao diretor-engenheiro Bernardo Porto pela assistência, apoio técnico e por ter disponibilizado os materiais e laboratório da empresa para execução do experimento deste trabalho. Agradeço também ao Sr. Murilo e Sr. Luiz pelo auxílio nessa etapa.

Por fim, também agradeço à Rafaela e ao Euber, técnicos do laboratório de engenharia civil da UniEVANGÉLICA, por toda a ajuda e contribuição para este estudo.

Márcia Janaína A. de Oliveira

RESUMO

O concreto autoadensável surgiu por volta de 1988 no Japão, devido à grande carência de mão de obra qualificada pelo país. Graças a sua principal característica de se moldar e preencher as fôrmas sem necessitar de vibração ou compactação, foram apresentadas diversas melhorias para a construção civil, se tornando um atrativo no que diz respeito ao avanço na história do concreto. Com isso, vários estudos e pesquisas começaram a ser desenvolvidos com o intuito de tornar o CAA (concreto autoadensável) tão conhecido e utilizável quanto o CCV (concreto convencional), por meio de ensaios e dosagens que comprovassem a sua qualidade. Atualmente, no Brasil, a busca e interesse pelo CAA para uso em obras vêm crescendo gradativamente, embora a falta de informação sobre custos ainda faça com que muitos profissionais prefiram a utilização do CCV, achando, por vezes erroneamente, que o custo do CAA será mais alto, ignorando as vantagens do uso dele. Para que o CAA seja aplicado de forma eficiente, é necessário analisar suas propriedades no estado fresco, de maneira a mantê-lo fluido e coeso simultaneamente, atentando-se também a aspectos que influenciem na sua durabilidade. Neste trabalho foi proposto o estudo das propriedades do CAA no estado fresco e endurecido, por meio dos ensaios de *slump flow test*, anel J, caixa L e resistência à compressão. Determinados os resultados, observou-se que o concreto dosado atendeu aos limites normatizados para ser caracterizado como autoadensável, ou seja, constatou-se sua fluidez, e foi verificada sua habilidade passante, não havendo evidências de segregação ou exsudação da mistura. Sua resistência à compressão foi superior a prevista.

PALAVRAS-CHAVE:

Concreto autoadensável. Autoadensabilidade. Propriedades do concreto. Trabalhabilidade.

ABSTRACT

Self-absorbed concrete emerged around 1988 in Japan, due to the large shortage of skilled labor in the country. Thanks to its main characteristic of molding and filling as a need for vibration or compaction, they have been differentiated for a civil construction, making it an important resource for progress in the memory of concrete. With this, several studies and researches began to be developed in order to become uninterrupted and, in particular, usable in relation to CCV (conventional concrete). At present, in Brazil, the search for and interest in the CAA for use in our campaigns increases progressively, although the lack of information on profits causes many professionals to prefer the use of CCV, sometimes erroneously believing that the cost of the CAA will be higher, ignoring the advantages of using it. In order for the CAA to be applied efficiently, its properties must not be fresh, in order to make the flow and plan more flexible, also taking into account a system that influences its durability. In this work the study of CAA properties in the fresh and hardened state was constructed by means of the test of drop flow, J-ring, L-box and compressive strength. Certain results of the conformity tests, ie the degree of fluency of the tests, were checked for their performance, ie whether the mixture was exuded or exuded. His resistance to the sentence was higher than expected.

KEYWORDS:

Self-supporting concrete. Self-absorption. Properties of concrete. Workability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte Akashi-Kaikyo no Japão.....	19
Figura 2 - Museu Iberê Camargo em Porto Alegre	20
Figura 3 - Edifício Camila, em Goiânia	21
Figura 4 - Concretagem da laje do 1º pavimento tipo do Residencial Amsterdam.....	22
Figura 5 - Pilares de Fundação com CAA.....	25
Figura 6 - Cripta Sagrada Família em Barcelona	26
Figura 7 - The Katelbridge recuperada com CAA	27
Figura 8 - Armaduras da ponte.....	27
Figura 9 - Ampliação Shopping Flamboyant	28
Figura 10 - Procedimentos de dosagem para obtenção do CAA.....	32
Figura 11 - Dosagem do CAA pelo Método proposto por Gomes.....	34
Figura 12 - Etapas para dosagem do CAA	35
Figura 13 - Molde - Cone de Abrams.....	40
Figura 14 - Posicionamento do molde.....	41
Figura 15 - Equipamentos utilizados para o ensaio do Anel J.....	42
Figura 16 - Formato da Caixa L	43
Figura 17 - Formato da Caixa-U.....	45
Figura 18 - Ilustração do Funil-V	46
Figura 19 - Coluna de segregação	47
Figura 20 - Execução do método da peneira	49
Figura 21 - Disposição do corpo-de-prova na máquina de ensaio	52
Figura 22 - Armazenamento dos agregados	56
Figura 23 - Armazenamento do pó de pedra e brita	57
Figura 24 - Aditivo plastificante.....	58
Figura 25 - Aditivo superplastificante de 3ª geração.....	59
Figura 26 - Materiais pesados para dosagem.....	60
Figura 27 - Betoneira com capacidade para 120 L.....	61
Figura 28 - Aspecto do CCV	62
Figura 29 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento.....	63
Figura 30 - Mistura com mais 150 mL de água.....	63
Figura 31 - Mistura com mais 50 mL de água.....	64
Figura 32 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento.....	64

Figura 33 - Mistura com 200 g de aditivo superplastificante	65
Figura 34 - Mistura com mais 150 mL de água.....	66
Figura 35 - Ensaio <i>slump flow test</i> da amostra	67
Figura 36 - Materiais pesados para dosagem.....	68
Figura 37 - Aspecto do CCV	69
Figura 38 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento.....	69
Figura 39 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento.....	70
Figura 40 - Mistura com 100 g de aditivo superplastificante	71
Figura 41 - Mistura com mais 50 g de aditivo superplastificante	71
Figura 42 - Ensaio de <i>slump flow test</i> da amostra	72
Figura 43 - Ensaio do anel J da amostra.....	73
Figura 44 - Ensaio da caixa L da amostra	73
Figura 45 - Corpos-de-prova moldados.....	74
Figura 46 - Tanques para procedimento de cura dos CP's.....	75
Figura 47 - Retífica para regularização dos CP's.....	75
Figura 48 - Prensa hidráulica para rompimento dos CP's.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ensaio de caracterização da trabalhabilidade do CAA.....	39
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de custos globais entre o CCV e o CAA	24
Tabela 2 - Ensaio e classificação para o CAA	50
Tabela 3 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial.....	54
Tabela 4 - Exigências químicas	55
Tabela 5 - Exigências físicas e mecânicas.....	55
Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo	56
Tabela 7 - Caracterização do agregado graúdo	56
Tabela 8 - Propriedades dos aditivos	58
Tabela 9 - Valores esperados do concreto	59
Tabela 10 - Composição do traço para 0,03m ³ de concreto	60
Tabela 11 - Composição do novo traço para 0,03m ³ de concreto	68
Tabela 12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão	76

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água/Cimento
API	Adições predominantemente inertes
APR	Adições predominantemente reativas
CAA	Concreto autoadensável
CAAB	Concreto autoadensável branco
CADAR	Concreto autoadensável de alta resistência
CAR	Concreto de alta resistência
CCV	Concreto convencional
CP	Corpo-de-prova
C3A	Aluminato tricálcico
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
f/c	Finos/cimento
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
NBR	Norma brasileira
NM	Norma Mercosul
sp/c	Superplastificante/cimento
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL	18
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO	18
2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CAA.....	22
2.3 APLICAÇÕES DO CAA.....	24
2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES	28
2.4.1 Cimento	28
2.4.2 Agregados	29
2.4.3 Água	30
2.4.4 Aditivos	30
2.4.5 Adições minerais	31
2.5 MÉTODOS DE DOSAGENS.....	31
2.5.1 Método de dosagem proposto por Okamura	32
2.5.2 Método de dosagem proposto por Gomes	33
2.5.3 Método de dosagem proposto por Tutikian	34
3 PROPRIEDADES DO CAA	37
3.1 ENSAIOS DE AUTOADENSABILIDADE	38
3.1.1 Método do cone de Abrams (<i>slump flow test</i>)	39
3.1.2 Método do anel J	41
3.1.3 Método da Caixa-L (<i>L-Box test</i>)	42
3.1.4 Método da Caixa-U	43
3.1.5 Método do Funil-V (<i>V-Funnel test</i>)	45
3.1.6 Método da coluna de segregação	46
3.1.7 Método da peneira	48
3.1.8 Valores recomendados para o CAA	49
3.2 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	50

3.2.1	Resistência à compressão.....	51
3.2.2	Resistência à tração.....	52
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
4.1	MATERIAIS CONSTITUINTES.....	54
4.2	DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5.1	PROPOSTAS PARA FUTUROS ESTUDOS.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Desde as civilizações primitivas, materiais como a madeira e a pedra já eram utilizados no âmbito da construção civil, devido a sua disponibilidade na natureza. Entretanto, ao longo dos anos constatou-se que esses elementos não resultavam em construções de qualidade.

Com isso, tornou-se necessária a elaboração de uma mistura, a qual ao final do seu processo resultasse em um elemento construtivo de resistência e durabilidade, surgindo no mercado o concreto, que atualmente é o material mais utilizado na indústria da construção civil.

Conforme definido por Pedroso (2009), o concreto, consciamente falando, é uma pedra artificial, da qual o homem pode moldá-la de acordo com a sua necessidade, fazendo com que ela tenha características de resistências parecidas com as das rochas naturais, no seu estado endurecido. E, ainda no seu estado fresco, pode ser moldado em variadas fôrmas e tamanhos.

A partir da mistura, devidamente dosada, de aglomerante (cimento), água, agregados (graúdos e miúdos) e, em alguns casos, aditivos e adições, é possível obter-se um material o qual por meio do processo de endurecimento desenvolve suas propriedades (PEDROSO, 2009).

O crescimento na indústria da construção civil fomentou estudos e posterior produção de concretos, com peculiaridades únicas para alcançar melhores resultados em específicos tipos de obras.

Por exemplo, o concreto de alto desempenho, devido a sua elevada resistência e melhor aderência entre o concreto e o aço, é indicado para aplicação em pré-fabricados e peças protendidas. Já o concreto bombeável pode ser aplicado em qualquer tipo de construção, entretanto é mais viável em obras de difícil acesso ou quando há a necessidade de se vencer grandes alturas ou distâncias.

À vista disso, definir o tipo de concreto a ser utilizado é de suma importância para garantir o êxito de uma construção, conciliando três aspectos principais: durabilidade, economia e menor tempo de execução.

Em meio a essa gama de tipos de concreto, surge no mercado um novo conceito: o concreto autoadensável (CAA).

Considerado como uma inovação na construção civil, o CAA vem sendo cada vez mais difundido no Brasil devido as suas inúmeras vantagens quando comparado ao concreto convencional (CCV).

Desenvolvido por volta de 1988, no Japão, o concreto autoadensável é um dos responsáveis pelo avanço tecnológico do concreto no mundo. Buscando aperfeiçoar a construção civil, tornando as obras mais rápidas, a diminuição da mão de obra qualificada e um melhor acabamento e durabilidade das estruturas.

Mesmo já tendo sido criado há tanto tempo, o CAA ainda é visto como novidade no mercado brasileiro, fazendo com que ainda perca espaço para o CCV, por ser considerado mais caro.

Para que o CAA seja de qualidade, é de extrema importância que sejam realizadas dosagens bem elaboradas. Uma dosagem mal feita, que não resulte na homogeneidade do concreto, pode fazer com que este, ao ser lançado sobre as fôrmas, sofra segregação.

Basicamente, são as propriedades do CAA no estado fresco que o difere do CCV. Portanto, é de extrema importância que haja uma análise minuciosa do concreto nessa condição, com o intuito de atestar suas particularidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

O CAA vem sendo visto como uma das grandes novidades no mundo da construção civil, possuindo como principal característica a capacidade de fluir por grandes áreas, vencendo obstáculos sem a necessidade de aparelhos de vibração para compactação, preenchendo espaços dentro das fôrmas e passando pelas armaduras, somente com o efeito do seu peso próprio.

As vantagens do CAA quando comparado ao CCV justificam-se, sobretudo quando a mistura se encontra no seu estado fresco, porém, também é indispensável uma análise das suas propriedades no estado endurecido, para alcançar sucesso na construção civil.

Por esses motivos, foi escolhido para ser o tema deste trabalho, o estudo das propriedades do CAA, baseando-se nos testes de *slump flow test*, caixa L, anel J e no ensaio de resistência à compressão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como principal objetivo analisar as propriedades do CAA, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar a análise das propriedades do CAA, utilizando como parâmetros os resultados obtidos nos ensaios de *slump flow test*, caixa L e anel J, realizados no estado fresco do concreto, e no ensaio de resistência à compressão.

1.3 METODOLOGIA

Para execução deste trabalho, foram realizadas pesquisas com o intuito de entender mais precisamente o CAA e a sua utilização tanto na indústria da construção civil no Brasil, quanto pelo mundo.

Partindo do desenvolvimento de um traço de CAA em laboratório, foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido do concreto, por meio dos quais foi possível realizar uma análise das suas propriedades.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho apresenta-se em 05 capítulos.

No capítulo 01 encontra-se a introdução ao tema com a finalidade de apresentá-lo ao leitor, juntamente com seus objetivos e metodologia.

No capítulo 02 é feito o referencial teórico, apresentando o contexto histórico do CAA, suas vantagens, desvantagens e aplicações. Ainda nesse capítulo encontram-se a descrição dos materiais constituintes desse tipo de concreto, juntamente com alguns dos métodos de dosagem existentes.

No capítulo 03 são abordadas as propriedades do CAA e descritos os ensaios os quais permitem a análise desse concreto.

No capítulo 04 é descrito o procedimento experimental para desenvolvimento do traço, realizando a análise dos resultados obtidos pelos ensaios de *slump flow test*, anel J, caixa L e resistência à compressão aos 03, 07 e 28 dias.

Por fim, no capítulo 05 constam as considerações finais do presente estudo.

2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

A fomentação na indústria da construção civil motivou estudiosos em pesquisas de novos tipos de concretos, a fim de se obter uma mistura que substituísse o concreto convencional em situações as quais esse não obtivesse resultados satisfatórios em determinadas características.

Em decorrência desses estudos, surge um grande avanço no que se refere à tecnologia do concreto, a utilização do CAA. Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que todas as vantagens do uso desse concreto em relação ao CCV são notadas quando a mistura encontra-se no seu estado fresco. Ao endurecer, as características desses dois tipos de concreto são absolutamente iguais. A distinção entre eles está nos seus componentes e proporções utilizadas na dosagem.

Compreende-se por concreto autoadensável, como o próprio nome permite deduzir, a capacidade do concreto de se autoadensar. Característica a qual é obtida por meio do criterioso equilíbrio entre a elevada fluidez e moderada viscosidade dessa mistura (GOMES & BARROS, 2009).

Okamura (1997 *apud* GOMES & BARROS, 2009) cita que o CAA dispensa o uso de aparelhos de vibração meramente por intermédio do seu peso próprio, ou seja, pela ação da gravidade. Justamente por essa capacidade de preenchimento, esse tipo de concreto é a principal alternativa para aplicação em peças com elevada densidade de armadura e fôrmas complexas, alcançando completo adensamento sem que haja segregação. Dessa forma, a durabilidade e resistência da estrutura não são comprometidas.

Repette (2011) menciona que os materiais utilizados na produção de CAA são basicamente os mesmos utilizados na confecção do CCV, diferenciando-se desse por conter maior acréscimo de finos, aditivos superplastificantes e em alguns casos, aditivos modificadores de viscosidade.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

O CAA foi desenvolvido no Japão, no final da década de 1980, devido à carência de mão-de-obra qualificada na operação de concretagem, sendo o adensamento inadequado um dos principais desafios para se alcançar estruturas duráveis (REPETTE, 2011). A necessidade de conciliar economia e menor tempo de execução também alavancaram os estudos para essa nova tecnologia.

Segundo Marques (2011), a redução no número de funcionários japoneses especializados na etapa de concretagem era um grande empecilho para alcançar estruturas duráveis ao final do processo construtivo, dessa forma diminuindo consideravelmente a qualidade dos serviços. A reduzida trabalhabilidade do concreto em peças com uma maior taxa de armadura e fôrmas complexas também prejudicava a capacidade dos elementos estruturais.

Mesmo tendo sido desenvolvido na década de 1980, somente por volta de 1997 o CAA teve uma aplicação em maior escala, sendo essa na concretagem das duas ancoragens de concreto da ponte metálica de Akashi-Kaikyo (Figura 1), no Japão, na época considerada como a ponte de maior vão livre do mundo, com 1.991 metros, e consumo de 290.000 metros cúbicos de CAA. Na ocasião, esse tipo de concreto foi empregado por dispensar a etapa de adensamento, já que o volume desse material era muito alto, maior agilidade na execução e qualidade final da estrutura (GEYER & SÁ, 2005).

Figura 1 - Ponte Akashi-Kaikyo no Japão



Fonte: GEYER (2006 *apud* ARAÚJO, 2007).

Mais tarde, o CAA é introduzido no mercado europeu e internacional, tornando-se uma alternativa na indústria da construção civil.

Geyer e Sá (2005) relatam que, a princípio, o custo alto dos aditivos utilizados na dosagem do CAA, como também o conhecimento defasado no que se relaciona a esse tipo de concreto, retardaram sua utilização no Brasil. Ao reduzir significativamente os valores dos insumos dessa mistura e em conjunto com o progresso nessa área do país, o CAA tornou-se uma boa escolha no mercado.

Considerado como um marco na engenharia e arquitetura brasileiras, a construção (iniciada em 2003) do museu Iberê Camargo, em Porto Alegre (Figura 2), por exemplo, além de utilizar a tecnologia do concreto branco, também teve na sua composição o concreto autoadensável (SILVA FILHO *et al.*, 2004). Preocupados com o aspecto estético e formato complexo de alguns elementos (paredes curvas), houve um controle tecnológico rigoroso do concreto branco autoadensável, para garantir as características desejadas ao final do processo construtivo.

Figura 2 - Museu Iberê Camargo em Porto Alegre



Fonte: FARIA, 2007.

Em Goiás, várias empresas do ramo da construção começaram a realizar estudos para conhecer melhor as propriedades do concreto, e assim, poder ajustá-lo à realidade do nosso país, devido as diferenças de condições climáticas e as normas aplicadas no Brasil.

Foi na capital do Estado, Goiânia, que o CAA ganhou mais força para ser utilizado nas obras. A partir de 2001, estudos eram realizados nos laboratórios da Universidade Federal de Goiás (UFG), pelo curso de engenharia civil.

Santos (2012) afirmou que a faculdade, as construtoras e as empresas de concreto foram de extrema importância, pois graças as pesquisas realizadas, foi possível perceber que o CAA já poderia ser utilizado em toda a construção de edifícios, tendo até mesmo um custo menor que o do CCV.

Porém, como era uma ideia nova no mercado, não existiam normas nem métodos de dosagens específicos para que esse concreto fosse utilizado no Brasil. Com isso, foi preciso fazer um trabalho em que fosse dada uma maior resistência em se tratando do clima do país, já que essa era uma das maiores dificuldades encontradas até então, pois os aditivos superplastificantes respondiam negativamente em situações de temperaturas elevadas.

A partir de pesquisas realizadas na universidade, foi possível adaptar os métodos de dosagens, os equipamentos, e até mesmo os aditivos, para que o CAA pudesse ser usado sem acarretar nenhum problema às estruturas.

Somente em dezembro de 2004, foi realizada a primeira obra de grande porte utilizando o CAA em Goiânia. Feita pela construtora Arcel Engenharia Ltda, que buscava promover o desenvolvimento de tecnologias novas, visando maior qualidade com menores gastos e mais agilidade na obra.

A primeira obra realizada em Goiânia foi o Edifício Camila (Figura 3), Residencial Sorelle, sendo empregado na concretagem da laje pela Realmix. Isso fez com que a capital de Goiás se tornasse conhecida pelo grande uso do concreto, tendo a utilização do CAA em cerca da metade do número total das obras da cidade.

Figura 3 - Edifício Camila, em Goiânia



Fonte: GEYER & SÁ, 2005.

Santos (2012) afirma que em muitos casos, a realização do uso do CAA exige por volta de 70% a menos de mão-de-obra que o CCV, podendo fazer com que isso torne o CAA mais utilizado nos canteiros, tornando-o mais procurado no mercado.

A cidade de Anápolis, Goiás, também se tornou cenário do uso dessa nova tecnologia. O edifício Residencial Amsterdam, situado no bairro Jundiáí, um dos locais mais nobres da

cidade, teve sua construção iniciada em 2014 e contou com o uso do CAA em toda a sua estrutura (Figura 4).

Figura 4 - Concretagem da laje do 1º pavimento tipo do Residencial Amsterdam



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2015.

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CAA

Conforme descrito por Loturco e Faria (2008), o CAA possui diversas características que fazem com que esse tipo de concreto seja mais vantajoso que o CCV.

Tais vantagens podem ser observadas em vários aspectos, como:

- Ocorre uma notável diminuição da mão-de-obra, pela facilidade do CAA preencher todos os espaços vazios sem necessitar de ajuda para atravessar obstáculos, como as armaduras;
- Obra mais rápida, pois a concretagem é feita com mais agilidade, tendo um melhor rendimento. Conforme descrito por Vieira (2013), o único tempo gasto é o do bombeamento, já que não há necessidade de fazer vibração para adensar o concreto;
- Diminuição de ruídos no canteiro de obras, por não precisar de vibração para compactação do concreto. Bartos e Söderlind (2000 *apud* Tutikian, 2004), após realização de estudos, afirmaram que os ruídos absorvidos pelos operários tem uma diferença de mais ou menos um décimo, em decibéis, do uso do CAA para o CCV;
- Torna a obra mais segura, como por exemplo, a etapa de concretagem da laje. Com o CCV seria necessária uma quantidade maior de funcionários para espalhar o concreto, já com o CAA, esse número de funcionários diminuindo significativamente e os riscos de

desabamento se tornam bem menores. Santos (2012) acreditava que, por ser um concreto menos pesado, o trabalhador fica exposto a menos riscos, por realizar menos esforços;

- Melhor acabamento, garantindo uma aparência melhor no concreto. Como ele é adensado apenas devido a gravidade, não ficam espaços vazios nas fôrmas (VIEIRA, 2013);
- Aumenta a durabilidade do concreto, graças à diminuição dos problemas durante a concretagem, como o aparecimento de nichos e falhas. De acordo com Tutikian (2007), o CAA apresenta um longo prazo sem necessitar de reparos, já que sua estrutura é mais densa que a do CCV, além de ser constituído de finos, que podem causar melhorias no estado endurecido do concreto;
- Maior economia, pelo menor gasto com mão-de-obra e pela economia nos gastos da eletricidade com o maquinário. Em relação à diferença de valores entre o CAA e o CCV, Tutikian (2007) relata que o valor do metro cúbico do CAA é por volta de 10% a mais que o CCV. Essa divergência de valores pode ser restaurada com grande facilidade quando forem colocadas no papel a economia feita com a redução da mão-de-obra.

De acordo com Tutikian (2007), o CAA não é algo que se pode considerar uma novidade. Muitas pesquisas comprovam que a não utilização desse material era a falta de conhecimento.

Já Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que, em suas opiniões, o que dificultou a propagação do CAA foi o seu custo, pois em países de primeiro mundo o valor da mão-de-obra é bastante elevado. Porém, hoje em dia o custo da mão-de-obra no Brasil está mais alto e em contrapartida o valor do CAA foi reduzido, fazendo com que ele seja mais procurado, deixando claro que tudo sempre foi questão de fatores econômicos.

Mesmo com todas as vantagens já comprovadas do CAA, a sua utilização no Brasil ainda encontra dificuldades. Para a utilização desse concreto é necessário que seja feito um acompanhamento técnico bastante exigente, para que não ocorram problemas com os aditivos.

O principal obstáculo encontrado é a respeito da dosagem, que apresenta algumas variações nos seus componentes, dificultando a escolha pelo CAA, pois ela deve ser de extrema precisão.

Outro fator é que por perderem o efeito muito rápido, deve-se fazer a mistura dos aditivos superplastificantes momentos antes do lançamento do concreto.

2.3 APLICAÇÕES DO CAA

Em maior parte dos casos, a busca pela utilização do CAA se dá quando há uma grande necessidade de obras mais rápidas, tendo uma excelente qualidade do material e com custo reduzido.

Tutikian (2004) relata que o primeiro uso do CAA foi realizado após ter sido comparado com o CCV. A pesquisa feita por duas empresas de pré-fabricados, demonstrou que mesmo tendo valores mais elevados em itens isolados, como no custo de materiais, no fim, com o baixo valor do adensamento e acabamento (Tabela 1), quando comparados aos valores desses itens no CCV, o CAA se tornou mais viável economicamente.

Tabela 1 - Comparativo de custos globais entre o CCV e o CAA

Etapa	Nº de pessoas	CCV – custo R\$/m³	CAA – custo R\$/m³
Composição do concreto	0	142,46	177,29
Mistura do concreto	1	3,43	3,43
Transporte	1	15,49	15,49
Aplicação do desmoldante	3	10,66	10,66
Adensamento	5	26,70	5,34
Acabamento	4	7,03	1,41
Reparos	2	14,55	0,00
Total		216,89	210,19

Fonte: TUTIKIAN, 2004.

Depois de pesquisas sobre a aplicação do CAA realizadas entre os anos de 1993 e 2003, Domone (2006 *apud* Tutikian, 2007) relatou que 67% do total das obras realizadas, utilizaram o CAA por ele possuir maiores benefícios técnicos quando comparado ao CCV, em dificuldades de vibração e difícil acesso ao local. Já 14% das empresas que optaram pelo uso do CAA, buscaram uma maior economia, pela diminuição do número de operários e pela redução significativa do tempo de conclusão da obra. Os últimos 10% preferiram o CAA por ser novidade, acreditando que esse material se tornaria um grande avanço na tecnologia da construção civil.

Walraven (2005 *apud* Tutikian, 2007) especificou alguns modelos de aplicação do CAA em indústrias de pré-fabricado, como na utilização de pilares de fundação, arcos, postes de concreto e elementos arquitetônicos, onde é utilizado o concreto autoadensável branco (CAAB).

Na execução de pilares de fundação (Figura 5), o uso do CAA aumentou a vida útil das fôrmas, reduzindo cerca de 6 minutos no tempo de fabricação de cada peça. Utilizando o CCV, esses pilares eram produzidos por um sistema de choque, onde eram lançados de uma altura de 50 mm (milímetros) para que fossem bem compactados, o que diminuía a sua durabilidade (WALRAVEN, 2005 *apud* TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Figura 5 - Pilares de Fundação com CAA



Fonte: WALRAVEN (2005 *apud* TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

A Sagrada Família (Figura 6), um dos pontos turísticos mais visitados da Espanha, começou a ser construída em 1882. Teve em sua estrutura um concreto branco e líquido, não podendo ser confirmado se poderia ser considerado um concreto autoadensável. Porém, teve em sua composição a utilização de sílica ativa e aditivo superplastificante, que torna o concreto mais fluido (OBRAS, 2000 *apud* TUTIKIAN, 2004).

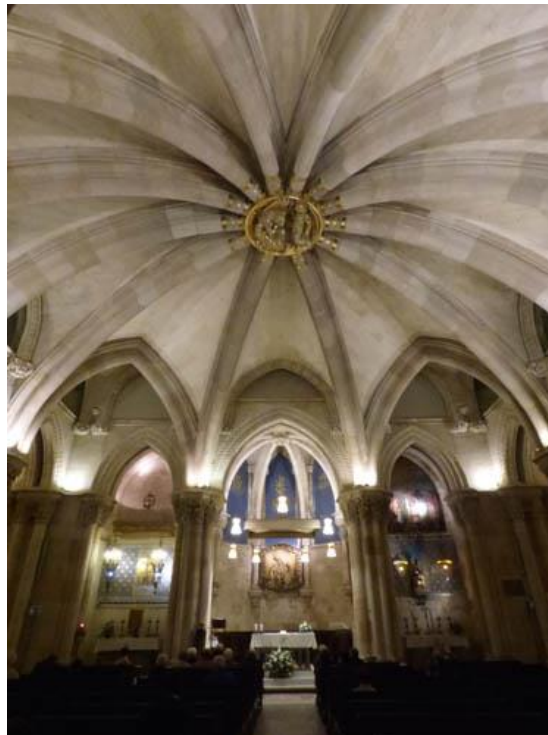
Tutikian (2007) relata que esse tipo de concreto branco, quando perceptível, não pode mostrar falhas na sua concretagem, pois isso tornaria a estética da estrutura visivelmente desagradável, se caso fosse necessário fazer futuros reparos.

Em 1998, em Chamarande na França, foram concretadas paredes com 2,30 m de altura, com 16 cm de espessura e 30 m de comprimento. Ainda na França, em 1999, na obra de Bretonneau, foi realizado um teste a fim de aprimorar o CAA. Já na Suíça, em 1988, o CAA foi usado na construção de um edifício, em Norrköping. Se tratava de um edifício para fins comerciais, possuindo 7 andares, sendo que os dois primeiros foram concretados

utilizando somente o CAA (SÖDERLIND & CLAESON, 2000 *apud* TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008)

Segundo Tutikian (2007), uma das áreas que também pode ser feita a utilização do CAA é a restauração de construções antigas, que por algum motivo não possam sofrer vibrações, já que isso causaria mais problemas, correndo risco até mesmo de rupturas em suas estruturas.

Figura 6 - Cripta Sagrada Família em Barcelona



Fonte: ROSA, 2015.

The Katelbridge (Figura 7), uma ponte na Holanda, restaurada em 2002, pode ser utilizada como exemplo. Por causa da sobrecarga, ocorreram várias frestas entre os tabuleiros da estrutura. Foi feita a utilização do CAA com resistência à compressão de 35 MPa. Na época a ponte já tinha 45 anos de construção. O CAA teve que transpor uma grande quantidade de armaduras (Figura 8), o que evidencia ainda mais a preferência por esse tipo de material (WALRAVEN, 2005 *apud* TUTIKIAN, 2007).

Figura 7 - The Katelbridge recuperada com CAA



Fonte: WALRAVEN (2005 *apud* TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Figura 8 - Armaduras da ponte



Fonte: WALRAVEN (2005 *apud* TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Abordando obras realizadas com o CAA no Brasil, Tutikian (2007) cita a ampliação do Shopping Flamboyant em Goiânia-GO (Figura 9), que ocorreu em 2006.

Foram utilizados por volta de 3.000 m³ (metros cúbicos) de CAA em pilares e fundações que já existiam na construção, com o intuito de torná-los mais resistentes. Um dos motivos da preferência pelo CAA, além da redução da mão-de-obra, foi a agilidade na concretagem da laje da estrutura que estava sendo construída, onde foram utilizadas vigas e pilares metálicos. Tais fatores acarretaram uma diminuição no custo final da obra, já que era necessário pagar horas extras para os funcionários, pois como o shopping teve que continuar funcionando durante as obras, algumas concretagens tiveram que ser realizadas no período

noturno, tornando o valor da hora extra mais alto. A fluidez do CAA que podia alcançar até 90 m, facilitou bastante o transporte por meio das bombas de concretagem. Por fim, a obra foi concluída e entregue em apenas seis meses (FARIA, 2008).

Figura 9 - Ampliação Shopping Flamboyant em Goiânia



Fonte: FARIA, 2008.

2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES

Válido para qualquer tipo de concreto, é necessário atentar-se a uma série de cuidados para se obter uma mistura de qualidade. Cuidados esses que vão desde a seleção dos materiais e proporção entre eles, até a etapa de cura do concreto, segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (2007).

De acordo com Dehn, Holschemacher e Weibe (2000 *apud* ARAÚJO, 2007), os materiais que compõem o CAA são, essencialmente, os mesmos utilizados na dosagem do CCV, como cimento, agregados, água, aditivos e adições. O diferencial do CAA encontra-se no uso de superplastificantes, a fim de beneficiar sua trabalhabilidade, maior proporção de finos, e eventualmente, uso de modificadores de viscosidade.

2.4.1 Cimento

Lorini (2014) define o cimento como um material com propriedades aglomerantes, que ao entrar em contato com água, entra em processo de endurecimento.

Em geral, não existe um tipo de cimento específico para o CAA, Repette (2011) aponta que qualquer tipo de cimento Portland, que é empregado na produção de CCV, também pode ser utilizado na dosagem de CAA. Devido ao fato de que o cimento altera as propriedades no CAA na sua fase plástica, é indicado o uso de cimentos de maior finura.

Alguns estudiosos recomendam cimentos devidamente ajustados para seu melhor aproveitamento. Por exemplo, Efnarc (2002 *apud* CAVALCANTI, 2006) cita que é por meio do aluminato tricálcico (C3A), que acontece a adsorção dos aditivos superplastificantes pelas partículas do cimento. Entretanto, conforme afirmado por Gomes e Barros (2009), cimentos com taxa de C3A a mais de 10% podem causar baixa trabalhabilidade. Portanto, o limite de C3A deve girar em torno de 8% (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

2.4.2 Agregados

Struble *et al.* (1998 *apud* ALENCAR, 2008) afirmam que os agregados exercem grande interferência no concreto fresco, isso se deve a sua granulometria e quantidade na mistura. Ao acrescentar agregados na pasta de cimento é possível verificar, proporcionalmente, um aumento na tensão de escoamento e na sua viscosidade plástica.

Quanto ao efeito dos agregados no estado endurecido do concreto, esse segue o mesmo comportamento que no concreto convencional.

Em síntese, agregados limpos e de boa qualidade, desde que em conformidade com a norma brasileira (NBR) 7211, publicada em 2009, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), podem ser utilizados na produção de CAA (LEITE, 2007). Melo (2005) afirma que é essencial atentar-se a alguns requisitos no que se refere às características desses elementos, os quais podem alterar as propriedades do concreto. São eles:

- **Forma e textura:** Melo (2005) recomenda a utilização de partículas com formato arredondado, pois reduzem o índice de vazios, já que permitem um melhor adensamento. E ainda por apresentarem uma menor área específica, garantem uma melhor fluidez. De acordo com Mehta e Monteiro (1994) elementos com textura áspera aumentam o custo do concreto, pois elevam a quantidade de pasta.
- **Granulometria:** para garantir que a mistura do CAA não sofra segregação, mantenha uma boa fluidez e tenha um custo viável, é recomendado o uso de partículas com granulometria contínua (MORAES, 2010).

2.4.3 Água

O uso desse material no concreto é mensurado por meio da relação água/cimento (A/C), a qual influi diretamente na viscosidade e resistência de qualquer tipo de concreto.

Quanto maior a quantidade de água no concreto, menor será sua viscosidade, além disso, uma elevada relação A/C também pode prejudicar sua resistência mecânica. Dessa forma, para assegurar um concreto com boa fluidez sem afetar sua resistência, o recomendado é o uso de aditivos superplastificantes (MELO, 2005).

2.4.4 Aditivos

A NBR 11768 (ABNT, 2011 b) define como aditivo, um produto empregado durante a dosagem do concreto em dose não superior a 5% do material cimentício da mistura. Esse elemento é empregado com o objetivo de aperfeiçoar as propriedades do concreto em ambos os seus estados (fresco e/ou endurecido).

Os aditivos mais comumente utilizados são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

De acordo com Araújo (2007) é indispensável o uso de aditivos superplastificantes na produção de CAA, pois esses tem a função de reduzir a quantidade de água da mistura e otimizar sua trabalhabilidade.

Esse tipo de aditivo pode ser classificado em dois grupos: os de 2ª geração, compostos por polímeros sintéticos sulfonados; e os de 3ª geração, chamados de policarboxilatos (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Conforme afirmado por Nunes (2001), o mais indicado para produção de CAA são os aditivos superplastificantes de 3ª geração, pois asseguram uma maior redução de água, elevada resistência inicial e manutenção da fluidez da mistura.

No que se refere aos aditivos modificadores de viscosidade, ao adicioná-los no concreto, há uma redução na exsudação e aumento da viscosidade da mistura, consequentemente reduzirá o fenômeno denominado como segregação (REPETTE, 2011). Segundo Gomes e Barros (2009) a ação dos modificadores de viscosidade, resumidamente, é elevar a coesão da mistura.

2.4.5 Adições minerais

De acordo com Cavalcanti (2006), a elevada quantidade de finos no CAA provoca, conseqüentemente, um volume de pasta maior e menor volume de agregado graúdo. Essa alta quantidade de pasta além de gerar aumento nos custos da mistura, também aumenta o calor de hidratação no concreto. Com a finalidade de reduzir o consumo de cimento e otimizar a produção de CAA, são acrescentados a mistura o que, comumente, é denominado de adições minerais.

Algumas literaturas definem como adições minerais, os materiais finamente fragmentados, com o intuito de obter características peculiares.

Segundo Mehta e Malhotra (1996 *apud* GOMES & BARROS, 2009) o uso de adições minerais podem envolver, basicamente, três aspectos vantajosos:

- Ambiental: no caso do uso de resíduos industriais, assim evitando o descarte do material de forma indevida no meio ambiente;
- Econômico: diminui o consumo de cimento e conseqüentemente há redução no custo por metro cúbico do concreto;
- Tecnológico: melhora as propriedades do concreto fresco e endurecido.

De acordo com Efnarc (2005 *apud* LEITE, 2007), as adições minerais podem ser classificadas conforme sua capacidade de reagir na presença de água em:

- Adições predominantemente reativas (APR): colaboram para a formação de hidratos. Exemplo: pozolanas, cinza da casca de arroz, cinza volante, sílica ativa etc.
- Adições predominantemente inertes (API): já esse tipo de adição provoca ações físicas. Exemplos: fíleres de calcário, quartzo e alguns tipos de resíduos.

2.5 MÉTODOS DE DOSAGENS

Cuidados na etapa de dosagem de qualquer tipo de concreto são indispensáveis para alcançar um equilíbrio entre as propriedades desejadas ao menor custo possível. Um dos fatores que interferem negativamente na propagação do CAA no Brasil é justamente a falta de métodos de dosagem eficientes.

Atualmente, existem vários métodos de dosagem de CAA propostos por vários autores, dentre eles os que mais se destacam, pela facilidade de reprodução ou por serem os

mais importantes, são os métodos de Okamura, precursor no estudo de dosagem do CAA, o de Gomes e o de Tutikian.

Gomes e Barros (2009), afirmam que os métodos de dosagem do CAA diferem-se do CCV, entretanto, também são empíricos. Os procedimentos e as teorias desenvolvidas contribuem para a compreensão do comportamento do CAA, e tem alcançado com êxito suas propriedades de autoadensabilidade exigidas.

2.5.1 Método de dosagem proposto por Okamura

Considerado como um dos principais métodos de dosagem do CAA, o método de Okamura foi proposto pelo professor Hajime Okamura, da Universidade de Tóquio.

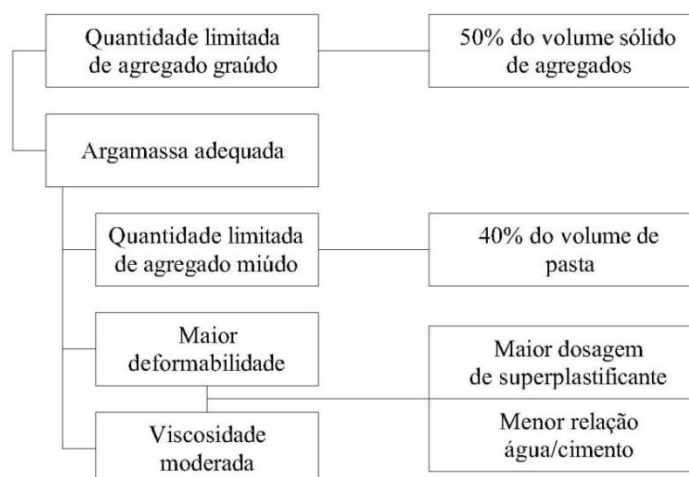
De acordo com Okamura e Ouchi (2003 *apud* TUTIKIAN, 2004) para alcançar as propriedades de autoadensabilidade o método parte da fixação de valores de alguns materiais, conforme Figura 10.

Os parâmetros são fixados da seguinte forma:

- Teor de ar entre 4% e 7%;
- Volume de agregado graúdo fixado em 50% do volume total de sólidos;
- Volume de agregado miúdo limitado a 40% do volume de argamassa.

A razão água/finos e o teor de aditivo superplastificante utilizados na dosagem do CAA são corrigidos nas fases de pasta e argamassa, por meio dos ensaios de espalhamento e Funil-V. Após isso, são realizados ensaios para determinar a capacidade de preenchimento do CAA (MORAES, 2010).

Figura 10 - Procedimentos de dosagem para obtenção do CAA



Fonte: GOMES & BARROS, 2009.

Melo (2005) afirma que o método de Okamura gera um alto volume de pasta, pois esses parâmetros não são determinados de forma racionalizada.

2.5.2 Método de dosagem proposto por Gomes

Gomes (2002 *apud* TUTIKIAN, 2004) aplicou a metodologia que se fundamenta em duas etapas de dosagem do CAA, conhecidas como pasta e esqueleto granular.

Esse método é utilizado na dosagem de CAA de alta resistência (CADAR). O concreto de alta resistência (CAR) vem sendo utilizado em muitos países por possuir altas características de durabilidade e mecânica (TUTIKIAN, 2004).

Na realização desse método (Figura 11), o concreto é visto como bifásico, tendo uma parcela em esqueleto granular e a outra como uma pasta, não necessariamente precisando um do outro para serem obtidos. Sendo assim, essa metodologia baseia-se na separação da base e do esqueleto granular durante a dosagem.

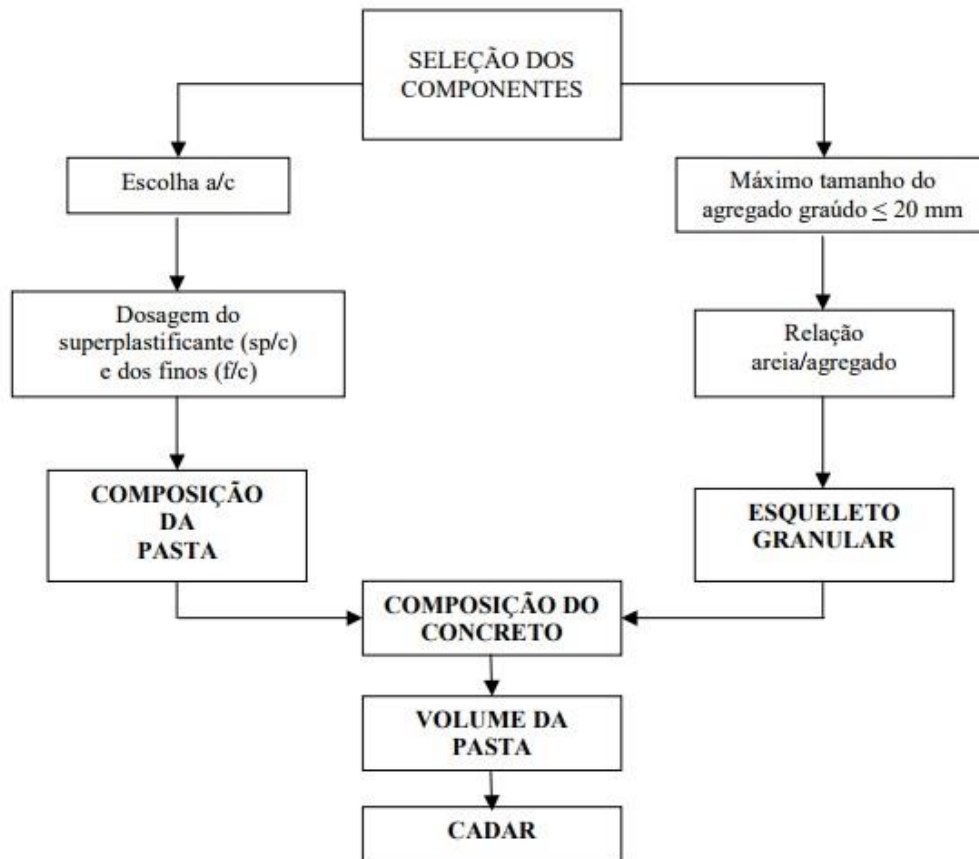
Segundo Gomes (2002 *apud* ALENCAR, 2008), o CAA deve ter valores de 50 MPa em sete dias, para ser considerado um concreto de alta resistência e seguir os seguintes parâmetros:

- Ter um esqueleto granular com baixo número de vazios;
- A pasta deve possuir resistência à compressão e propriedades autoadensáveis do concreto fresco;
- A relação água/aglomerante deve ser baixa;
- As relações finos/cimento (f/c) e aditivo superplastificante/cimento (sp/c) devem formar uma pasta com ótima coesão e fluida.

De acordo com Tutikian (2004), os diâmetros máximos dos agregados graúdos são até 20 mm, causando menos atrito entre elas, quando houver menos quantidades de partículas de materiais. Os vazios entre os grãos dos agregados também devem ser diminuídos, para que sejam utilizadas menos pastas para lubrificar o concreto, reduzindo sua porosidade.

A pasta deve apresentar fluidez e coesão, tornando necessária a realização de testes na dosagem dos finos e dos aditivos plastificantes. Realizando testes de cone de *Marsh* com *mini-slump* se acha a saturação do aditivo superplastificante e a relação f/c.

Figura 11 - Dosagem do CAA pelo Método proposto por Gomes

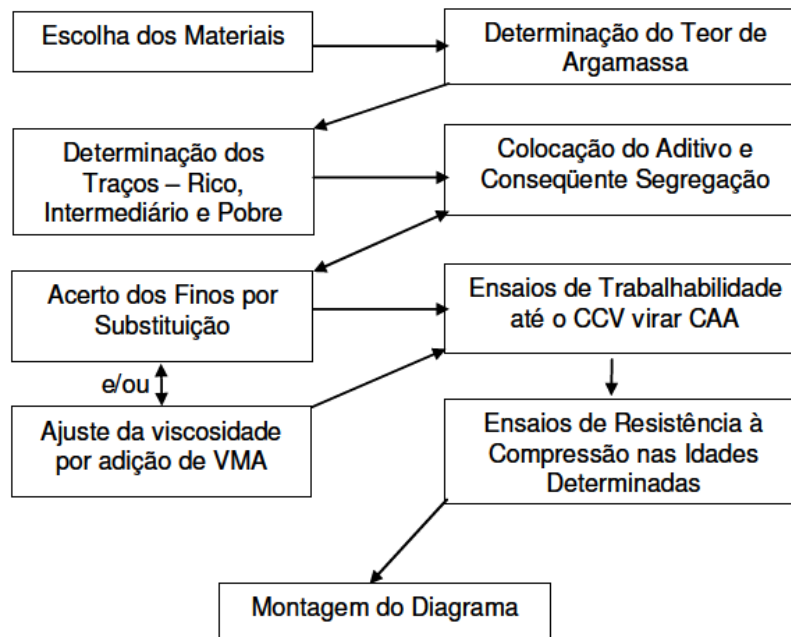


Fonte: GOMES (2002 *apud* TUTIKIAN, 2004).

2.5.3 Método de dosagem proposto por Tutikian

O método de dosagem de Tutikian (2004) é fundamentado no método de dosagem para CCV, inicialmente desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), o qual foi atualizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) por Helene e Terzian (GOMES & BARROS, 2009). Basicamente, sua metodologia consiste em manter constante o teor de argamassa (adquirido a partir da dosagem de CCV), variando seus componentes até que a mistura se torne autoadensável, com o acréscimo de aditivos superplastificantes e finos. Ou seja, a princípio são utilizados na dosagem os materiais básicos do concreto: cimento, agregados (miúdos e graúdos) e água, e mais tarde, a mistura é incrementada com aditivos e finos. Na Figura 12 é apresentado o passo a passo desse método (OLIVEIRA, 2011).

Figura 12 - Etapas para dosagem do CAA



Fonte: TUTIKIAN, 2004.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), o primeiro passo para a dosagem do CAA pelo método proposto por Tutikian é a escolha dos materiais, onde deve-se analisar o custo de cada componente, disponibilidade no mercado e distâncias aceitáveis. Além disso, deve-se atentar ao diâmetro máximo dos agregados graúdos (menor que 19 mm), e escolha dos finos que deverão ser acrescentados para corrigir a viscosidade do concreto, já que, após adicionar o aditivo superplastificante, ocorrerá um drástico aumento na fluidez da mistura, gerando segregação.

É preciso definir o teor de argamassa seca, conforme método mencionado (IPT/EPUSP), sem aditivos ou finos, mantendo-o constante até o término da dosagem do CAA (FOCHS, 2011). Tutikian e Dal Molin (2008) recomendam que o teor de argamassa mantenha-se constante em todos os traços executados.

Deve-se levar em consideração se os finos utilizados são ou não pozolânicos, já que o teor de argamassa é calculado de maneiras diferentes para esses dois casos.

São produzidos três traços, um rico, um intermediário e um pobre, com a finalidade de desenhar o diagrama de dosagem para os materiais escolhidos, dessa forma possibilitando produzir a mistura de qualquer tipo de concreto com esses elementos (GOMES & BARROS, 2009). Após a adição dos aditivos superplastificantes e de finos, o CCV passa a se tornar CAA.

Oliveira (2011) aponta que a adição de finos substituirá em massa, parte do cimento ou dos agregados miúdos, o que irá definir isso é o tipo de fino utilizado.

Conforme vai sendo adicionado aditivos e adições na mistura, o concreto torna-se mais coeso e menos fluido. Dessa forma, cada vez que um componente é substituído por finos, deve-se realizar ensaios de trabalhabilidade, até que o concreto se encontre dentro dos limites estabelecidos nos ensaios de autoadensabilidade, finalizando a dosagem (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Tutikian (2004) afirma que, com os valores de resistência à compressão, relação água/aglomerante, traço “m”, *slump flow test* e consumo de cimento por metro cúbico, é possível desenhar o diagrama de dosagem e determinar as equações de comportamento do CAA. Partindo de qualquer condição inicial, é possível dosar o CAA com os materiais selecionados no início da dosagem.

3 PROPRIEDADES DO CAA

Uma das principais características do CAA é que ele não precisa de nenhum auxílio para desempenhar a sua função.

Para um concreto ser considerado autoadensável ele deve se encaixar em três aspectos importantes: ser resistente à segregação, possuir capacidade passante e ser fluido (EFNARC, 2005 *apud* DAROS, 2009).

Okamura (1997 *apud* VICENTINI *et al.*, 2017), reproduziu o CAA, descrevendo-o como um concreto que tinha uma ótima deformabilidade enquanto em seu estado fresco, e grande resistência a segregação, sendo fluido e possuindo habilidade passante. Tais características fazem com que esse concreto possa se autoadensar, utilizando somente o seu peso próprio, sem necessitar do auxílio de vibração, ou seja, somente pela gravidade.

Conforme Tutikian (2007), resistência à segregação se caracteriza pela aptidão do CAA percorrer, ou não, por obstáculos sem perder a fluidez e a coesão. A habilidade passante é a capacidade de o CAA escorrer pelas fôrmas, sem segregar, nem interromper o fluxo. Já a fluidez é a propriedade que faz com que o concreto preencha todos os espaços, levando o agregado graúdo por toda a extensão da fôrma.

Segundo Repette (2008), uma das maiores causas de não se obter sucesso durante a utilização do CAA é a segregação. Nesse caso, ocorre a separação entre os agregados, que afundam, e a água, gerando o processo de exsudação. Isso faz com que o CAA perca as suas características, que são as de ter capacidade de se deformar, ser fluido e coeso.

As propriedades do CAA no estado fresco é o ponto essencial que o diferencia do CCV. Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a trabalhabilidade do CAA no estado fresco é que faz com que ele seja aplicado de forma correta, já que não é necessária a ajuda de operários para que ocorra o adensamento. Quando o concreto estiver sendo feito já no local da obra, são necessários equipamentos que comprovem a trabalhabilidade do material.

Conforme Mehta e Monteiro (1994), a adição de finos ao concreto é o que faz com que o CAA tenha uma melhor trabalhabilidade enquanto em seu estado fresco.

De acordo com Castro (2007), reologia é o estudo das deformações e da fluidez dos materiais quando eles forem sujeitos a tensões.

O CAA possui dois aspectos: tensão de cisalhamento, que é uma medida de força, que ocasiona a movimentação do material, e a viscosidade plástica, que é a medida da taxa de fluxo do concreto. Devido ao baixo valor da tensão de cisalhamento e a elevada viscosidade, o

CAA possui alta capacidade de fluir sem sofrer segregação (OH *et al.* s/d *apud* TUTIKIAN, 2007).

De acordo com Okamura (1997 *apud* DAROS, 2009), a viscosidade plástica é feita por meio da adição de água e superplastificantes, já a tensão de cisalhamento é consequência de materiais finos, como cimento. A adição de água faz com que o concreto seja menos viscoso, se tornando mais fluido, enquanto a utilização de superplastificantes faz com que ocorra um aumento da fluidez sem alterar em quase nada a viscosidade.

Outro cuidado essencial na utilização do CAA é referente a pressão que ele exerce nas fôrmas. Por serem consideravelmente mais rápidas as concretagens, as fôrmas podem sofrer algumas alterações.

Os procedimentos adotados para avaliação das propriedades do CAA diferem-se dos métodos do CCV apenas no seu estado fresco.

A NBR 15823-1 (ABNT, 2017 a) determina a classificação do CAA no estado fresco em função da sua autoadensabilidade, propriedade a qual é avaliada por meio de alguns ensaios normatizados.

Apesar das vantagens do CAA serem atribuídas, principalmente, as suas características no estado fresco, as propriedades no estado endurecido da mistura também devem ser minuciosamente verificadas. Somente após ambas as análises, o CAA pode ser aplicado de forma segura na construção civil (CAVALCANTI, 2006).

3.1 ENSAIOS DE AUTOADENSABILIDADE

Petersson (1999 *apud* TUTIKIAN, 2004) relaciona esses ensaios de acordo com sua aplicação e propriedades analisadas. No Quadro 1 são descritos alguns ensaios, classificando-os conforme sua relevância no estado fresco do CAA.

Quadro 1 - Ensaios de caracterização da trabalhabilidade do CAA

Ensaios	Utilização		Propriedades Avaliadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Habilidade passante	Coesão
Espalhamento	X	X	XXX	N	X
Tempo de escoamento T ₅₀	X	X	XXX	N	X
Funil-V	X	X	XX	N	X
Caixa-L	X	N	N	XXX	XX
Caixa-U	X	N	N	XXX	XX
Anel-J	X	X	N	XX	XX

XXX - altamente recomendável, XX - recomendável, X - pouco recomendável, N - não recomendável

Fonte: PETERSSON (1999 *apud* TUTIKIAN, 2004) - Adaptado.

3.1.1 Método do cone de Abrams (*slump flow test*)

O método do cone de Abrams (*slump flow test*) foi padronizado no Japão, em 1990 tendo como objetivo avaliar a fluidez do CAA, por meio da determinação do seu espalhamento e tempo de escoamento.

Basicamente, esse procedimento consiste em atestar se o CAA, apenas sob ação do seu próprio peso, é capaz de espalhar-se até alcançar determinada dimensão em determinado tempo e uma dimensão limite. Por ser um ensaio rápido e prático é um dos mais utilizados, tanto em laboratórios como *in loco*.

Os equipamentos necessários para realização desse ensaio são:

- Cone de Abrams, com diâmetro superior de 100 mm e inferior de 200 mm, com altura de 300 mm (Figura 13);
- Uma base quadrada reta, lisa e de material sólido que não solte material, com dimensões de, no mínimo, 90 cm de lado;
- Uma trena ou uma régua de, no mínimo, 1000 mm;
- Um recipiente com capacidade de, no mínimo, 10 litros (L);
- Tronco de cone invertido;
- Uma colher de pedreiro;
- Um cronômetro.

Para eficácia do ensaio de *slump flow test*, deve adotar o seguinte procedimento, normatizado pela NBR 15823-2 (ABNT, 2017 b):

Na base, a qual deve estar posicionada em uma superfície nivelada e regular, são feitas duas marcações circulares: uma com 200 mm e outra com 500 mm, a partir do centro da placa (Figura 14). O cone, limpo e umedecido, deve ser locado no centro dessa base. Com a

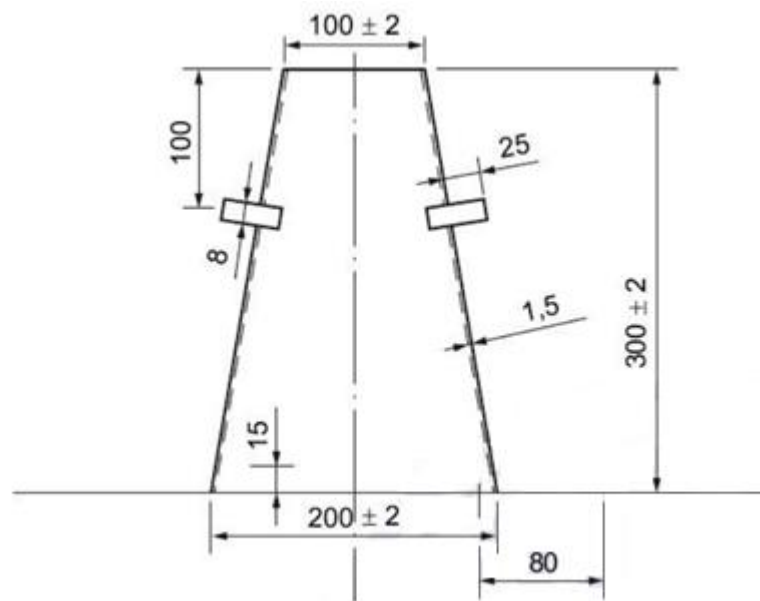
finalidade de evitar qualquer vazamento do concreto, esse molde é fixado pelas suas alças, pelas mãos de um operador. A amostra de concreto é inserida dentro do cone sem adensamento, e de maneira contínua e uniforme. O concreto excedente no topo do cone e resíduos da base devem ser retirados.

Após esse procedimento inicial, o cone deve ser retirado cuidadosamente, na direção vertical, em um único movimento. Assim que iniciado esse movimento, o cronômetro deve ser acionado.

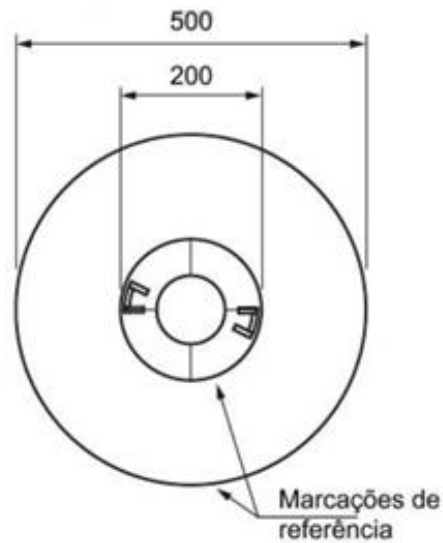
Quando o espalhamento do concreto atingir a marca de 500 mm, o cronômetro é parado, e registra-se o tempo, o qual é nomeado como T_{500} .

Ao final do espalhamento, com uma trena, são medidos os dois diâmetros perpendiculares. Com esses dados calcula-se a média aritmética, resultado o qual é denominado como espalhamento do concreto (SF) em milímetros.

Figura 13 - Molde - Cone de Abrams



Fonte: ABNT, 2017 b.

Figura 14 - Posicionamento do molde

Fonte: ABNT, 2017 b.

3.1.2 Método do anel J

A NBR 15823-3 (ABNT, 2017 c) normatiza o ensaio do anel J com a finalidade de analisar a capacidade passante, em fluxo livre, do CAA.

Os equipamentos necessários nesse procedimento são os mesmos utilizados no método do cone de Abrams (Ver item 3.1.1), diferenciando-se apenas pela dispensa do cronômetro, e acréscimo do anel J.

Esse anel deve ser metálico, com 300 mm de diâmetro e 120 mm de altura, contendo barras de aço de 16 mm distribuídas verticalmente a cada 59 mm (Figura 15).

O molde e placa de base devem estar limpos e umedecidos antes da realização do ensaio. Após isso, o anel J é posicionado no centro da placa, a qual deve estar locada em uma superfície plana. Então, a amostra de concreto é depositada de forma contínua e uniforme, sem qualquer tipo de adensamento. Ressaltando que, o excesso de concreto deve ser removido com auxílio da colher de pedreiro.

O processo de desmoldagem deve ser realizado levantando o molde cuidadosamente pelas alças. Nessa etapa, é necessário esperar até o momento em que o concreto alcance uma posição de repouso para realizar duas medidas perpendiculares entre si do espalhamento da mistura.

Figura 15 - Equipamentos utilizados para o ensaio do Anel J



Fonte: PEINADO *et al.*, 2013.

O espalhamento final (j_F) do CAA é obtido em milímetros por meio da Equação 1:

$$j_F = \frac{(j_1 + j_2)}{2} \quad (1)$$

Onde:

j_1 = diâmetro maior, obtido no ensaio do anel J, em milímetros

j_2 = diâmetro menor, obtido no ensaio do anel J, em milímetros

A diferença (PJ) entre o diâmetro médio do espalhamento (SF) obtido no ensaio do cone de Abrams e o obtido nesse ensaio (j_F) também é um parâmetro a ser analisado.

É importante que se observe qualquer obstrução à passagem do concreto pelas barras de aço, e indicação de segregação.

3.1.3 Método da Caixa-L (*L-Box test*)

De acordo com Tutikian (2004), o ensaio da Caixa-L mede a habilidade passante da mistura.

A partir desse método é verificado se o concreto, simplesmente pela ação do seu peso próprio, é capaz de passar por obstáculos, sem que haja bloqueio.

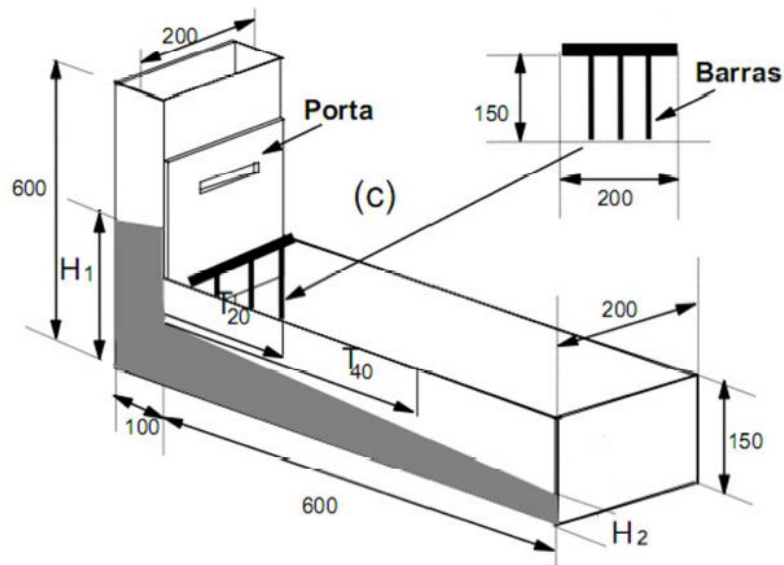
Para executar esse ensaio, são necessários os equipamentos abaixo:

- Uma caixa em forma de L, conforme Figura 16;

- Um recipiente com volume, de no mínimo, 14 L;
- Uma colher de pedreiro;
- Uma trena ou régua, de no mínimo, 1.000 mm;
- Dois cronômetros;

Conforme NBR 15823-4 (ABNT, 2017 d), essa caixa é dividida em duas partes, vertical e horizontal, com barras de aço de diâmetro igual a 12,5 mm. O concreto é depositado no compartimento vertical da caixa, sem adensamento e de maneira uniforme. Após 60 ± 10 segundos, é liberada a porta entre os compartimentos e o concreto flui do local de origem até a seção horizontal do equipamento. Quando o concreto cessa seu movimento, são registradas as alturas em duas situações: altura do concreto no final do trecho horizontal (H_2) e a altura remanescente do trecho vertical (H_1). A habilidade passante (HP) é calculada em milímetros por meio da razão entre essas alturas (H_2/H_1).

Figura 16 - Formato da Caixa L



Fonte: LISBOA, 2004.

3.1.4 Método da Caixa-U

O ensaio feito pelo método da Caixa-U foi desenvolvido no Japão, pelo Centro de Pesquisas Tecnologias da Corporação Taisei. Segundo Okamura e Ouchi (2003 *apud* GOMES & BARROS, 2009), esse ensaio é mais indicado para revelar concretos que tenham tendência a sofrer segregação entre a argamassa e os agregados graúdos. Com isso, esse ensaio realiza a medição da habilidade passante do CAA e da sua fluidez.

Assim como no ensaio realizado pelo método da Caixa-L, para que se venha a ter resultados mais precisos, as armaduras da Caixa-U devem ser planejadas de acordo com cada caso. O concreto será mais autoadensável conforme ele passar de um lado para o outro da caixa com mais coesão, sem sofrer segregação (TUTIKIAN, 2004).

De acordo com a NBR 15823-4 (ABNT, 2017 d), a Caixa-U não deve sofrer deformações durante os ensaios. Se trata de uma seção de forma retangular, tendo seu perfil no formato de U. Possui duas divisões unidas por uma fração em curva. Deve ser feita, de preferência, com material metálico e possuir pelo menos 1,5 mm de espessura. Se a caixa for feita com outros tipos de materiais, os mesmos não podem reagir com o concreto.

Deve ainda possuir uma grade, formada por três barras dispostas na mesma distância entre si e os lados da caixa, e possuir $12,5 \pm 0,2$ mm de diâmetro.

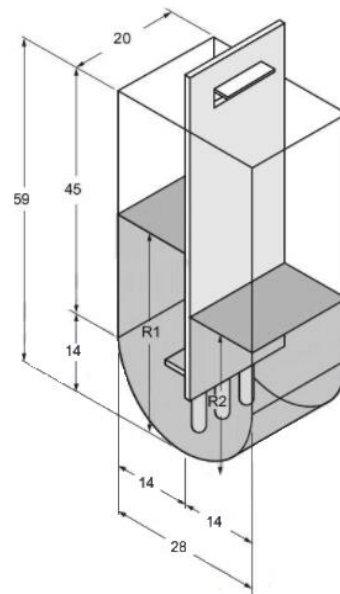
São utilizados os seguintes instrumentos no procedimento desse ensaio:

- Caixa em forma de U, conforme Figura 17;
- Recipiente que seja feito com material que não absorva, nem reaja com o concreto, que tenha uma capacidade de 20 L ou mais;
- Colher de pedreiro, para retirar a quantidade de concreto que sobrar na face da caixa;
- Régua metálica de 1.000 mm de comprimento;
- Cronômetro;
- Amostra de concreto, que deve seguir os requisitos da NBR NM 33 (ABNT, 1998 a).

Sobre a realização do ensaio, segundo a NBR 15823-4 (ABNT, 2017 d), conservando uma umidade de no mínimo 50% e temperatura de 23 ± 2 °C. Deve-se fazer a limpeza da caixa com água e umectar os lados da caixa ou com água ou com desmoldante, sendo em pouca quantidade homogênea.

A amostra do concreto deve ser colocada na caixa em no máximo 2 minutos, enchendo um lado todo da caixa uniformemente. Após escoar toda a amostra, deve-se executar a medição das alturas, R1 e R2, para poder realizar o cálculo da habilidade passante.

Figura 17 - Formato da Caixa-U



Fonte: ABNT, 2017 d.

3.1.5 Método do Funil-V (*V-Funnel test*)

Desenvolvido na Universidade de Tóquio, o ensaio do funil-V consiste em analisar a viscosidade da mistura.

De acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2017 e), esse ensaio baseia-se no tempo que a amostra de CAA, de aproximadamente 10 L, requer para fluir através do orifício interior de um funil. Após o *slump flow test*, o Funil-V é um dos métodos mais utilizados.

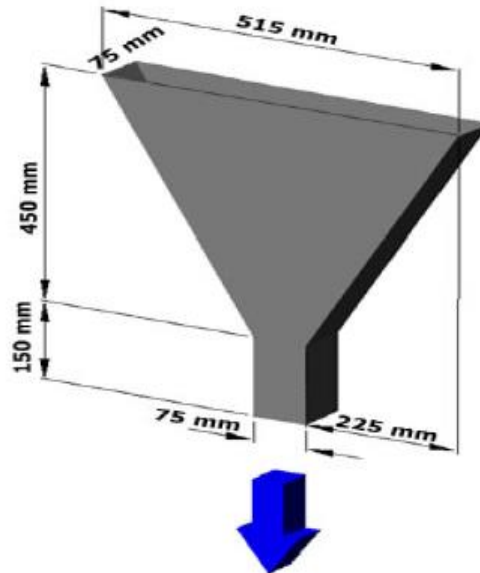
Equipamentos necessários:

- Funil em forma de V, com as dimensões conforme Figura 18;
- Um recipiente metálico com capacidade de, no mínimo 12 L;
- Uma concha metálica;
- Uma colher de pedreiro;
- Um cronômetro.

O funil é posicionado em uma superfície plana, rígida e horizontal, e em seguida é preenchido completamente com a amostra de CAA, sem qualquer adensamento e interrupção. O recipiente é locado sob o funil para coletar o concreto. Removido o excesso de concreto do topo do funil e decorridos 10 ± 2 segundos após o final do seu preenchimento, abre-se a porta de saída do funil. Nesse ato deve-se acionar o cronômetro e ser registrado o tempo desde a

abertura até o momento em que seja possível visualizar o recipiente posicionado abaixo do funil. Esse tempo é denominado como tempo para escoamento completo do concreto (T_{10seg}).

Figura 18 - Ilustração do Funil-V



Fonte: CAVALCANTI, 2006.

3.1.6 Método da coluna de segregação

Em síntese, esse ensaio determina a resistência à segregação do CAA. Abaixo são listados os equipamentos utilizados nesse procedimento:

- Coluna de segregação de PVC, conforme Figura 19;
- Concha metálica;
- Colher de pedreiro;
- Cronômetro.

A NBR 15823-6 (ABNT, 2017 f) determina que após limpar e umedecer o interior da coluna, essa deve ser locada em uma superfície rígida e plana. A amostra de concreto, de aproximadamente 20 L, é depositada dentro da coluna sem adensamento, de maneira uniforme e sem interrupção. O excesso de concreto obtido nessa etapa deve ser retirado.

Decorridos 20 minutos após a moldagem são extraídas amostras de CAA do topo e da base, inserindo na união das seções do tubo uma chapa metálica.

Cada amostra é levada, individualmente, sobre uma peneira com malha de 4,75 mm, removendo toda a argamassa da mistura, de maneira a limpar os agregados graúdos. Esses

elementos limpos devem ser submetidos a um processo de secagem superficial, com auxílio de pano ou papel absorvente. Em seguida, são pesadas e registradas suas massas (m_B e m_T).

A resistência a segregação do CAA (SR) em % é calculada por meio da Equação 2.

$$SR = \frac{2 (m_B + m_T)}{m_B + m_T} 100 \quad (2)$$

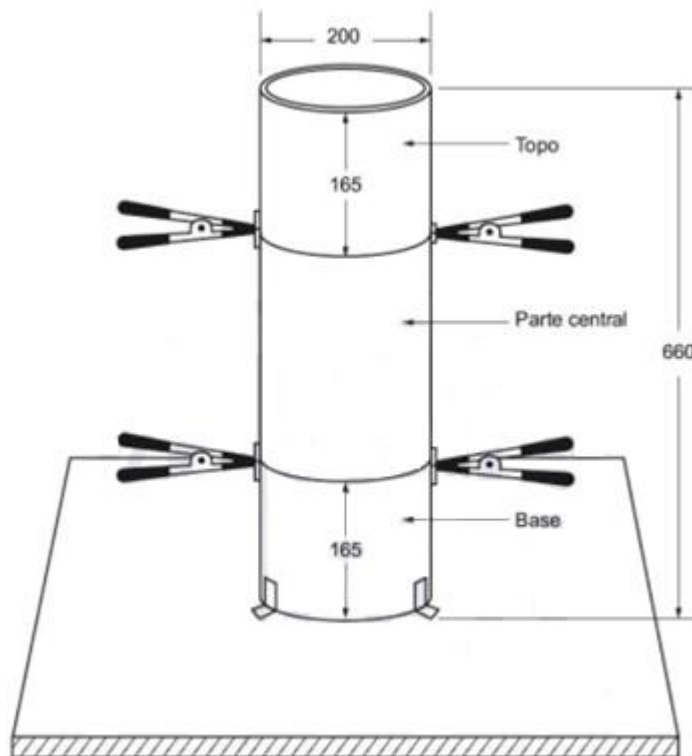
Onde:

m_B = massa do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada da base da coluna, em gramas;

m_T = massa do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada do topo da coluna, em gramas;

Caso m_T seja maior ou igual a m_B , a segregação é igual a zero.

Figura 19 - Coluna de segregação



Fonte: ABNT, 2017 f.

3.1.7 Método da peneira

No anexo A da NBR 15823-6 (ABNT, 2017 f) é prescrito o ensaio pelo método da peneira, com o intuito de determinar a resistência à segregação da mistura. Porém esse ensaio não é aplicável ao CAA com agregado leve ou fibras em sua composição.

Equipamentos necessários:

- Peneira metálica com malha 4,75 mm. O diâmetro do caixilho deve ser superior ou igual a 300 mm e altura das bordas da peneira não pode ser menor que 30 mm;
- Balança com capacidade de, no mínimo, 10 quilogramas (kg);
- Recipiente com diâmetro interno de, no mínimo, 200 mm e volume mínimo de 11 L, com marca de 10 L em seu interior;
- Cronômetro;
- Termômetro.

O primeiro passo desse ensaio é o registro da temperatura da amostra do concreto (aproximadamente 10 L). Esse conteúdo é inserido no recipiente, o qual deve ser coberto para impedir a evaporação.

Devem ser tomados alguns cuidados para execução desse ensaio:

- Balança nivelada e isenta de qualquer vibração;
- Peneira e fundo da peneira devem estar secos e livres de qualquer material, sendo a massa do fundo da peneira registrada (m_p).

Após 15 minutos, a cobertura do recipiente deve ser retirada, observando se ocorreu o fenômeno da exsudação (presença de água na superfície do concreto). Com o equipamento preparado, conforme Figura 20, a amostra de concreto é despejada cuidadosamente (incluindo a água, se houver) no centro da peneira. Essa massa de concreto (m_c) deve ser registrada, em gramas.

A amostra deve manter-se por 120 segundos sobre a peneira. Decorrido esse tempo, essa peça é retirada, verticalmente e sem qualquer agitação. A massa de concreto passante pela peneira (m_{ps}) também é registrada.

A resistência a segregação (SR) pelo método da peneira é determinado em % por meio da Equação 3.

$$SR = \frac{(m_{ps} - m_p) \times 100}{m_c} \quad (3)$$

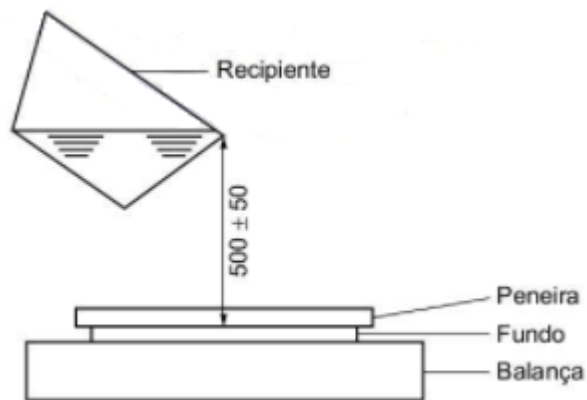
Onde:

m_{ps} = massa do fundo da peneira, contendo o concreto passante pela peneira, em gramas;

m_p = massa do fundo da peneira, em gramas;

m_c = massa de concreto inicialmente colocado sobre a peneira, em gramas.

Figura 20 - Execução do método da peneira



Fonte: ABNT, 2017 f.

3.1.8 Valores recomendados para o CAA

Conforme já citado neste trabalho, o que irá estabelecer o concreto como autoadensável são suas características no estado fresco. É fundamental averiguar, tanto na sua produção como no recebimento, se o concreto possui habilidade de preenchimento e passante e se resiste à segregação (REPETTE, 2011).

As propriedades do CAA são analisadas a partir dos limites estabelecidos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2017 a) de acordo com as classes dos ensaios descritos. Essa classificação é em função da aplicação do concreto (Tabela 2).

Tabela 2 - Ensaio e classificação para o CAA

Ensaio	Classe	Valores limites	Aplicação
Cone de Abrams (Espalhamento)	SF 1	550 a 650 mm	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura
	SF 2	660 a 750 mm	Maioria das aplicações correntes
	SF 3	760 a 850 mm	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou fôrma arquitetônica complexa
T ₅₀₀ (Tempo de Escoamento)	VS 1	≤ 2 s	Elementos estruturais com alta densidade de armadura
	VS 2	> 2 s	Maioria das aplicações correntes
Anel-J (Habilidade Passante)	PJ 1	0 a 25 mm com 16 barras de aço	Maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm
	PJ 2	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm
Caixa-L (Habilidade Passante)	PL 1	H2/H1 ≥ 0,80, com duas barras de aço	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm
	PL 2	H2/H1 ≥ 0,80, com três barras de aço	Maioria as aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm
Caixa-U (Habilidade Passante)	PU	H2-H1 ≤ 30 mm	Maioria as aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm
Funil-V (Viscosidade)	VF 1	≤ 8 s	Elementos estruturais com alta densidade armadura
	VF 2	9 a 25 s	Maioria das aplicações correntes
Coluna de Segregação ou Método da Peneira (Resistência a Segregação)	SR 1	≤ 20, distância a ser percorrida pelo concreto menor que 5 m	Espaçamento entre armaduras > 80 mm
		≤ 15, distância a ser percorrida pelo concreto maior que 5 m	Espaçamento entre armaduras > 80 mm
	SR 2	≤ 15, distância a ser percorrida pelo concreto menor que 5 m	Espaçamento entre armaduras < 80 mm

Fonte: ABNT, 2017 a - Adaptado.

3.2 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

De acordo com Melo (2005), as principais características do CAA no estado endurecido são:

- Maior homogeneidade na microestrutura;
- Para uma mesma relação A/C há uma melhoria na resistência à compressão, quando comparado ao CCV;
- Tendência de redução do módulo de elasticidade;

- Otimização na aderência entre o concreto e as barras de aço;
- Melhoria na durabilidade.

Para determinar e analisar as propriedades mecânicas e de durabilidade do CAA, Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que são aplicados os mesmos conceitos no que se refere à tecnologia dos concretos. Essas propriedades estão diretamente ligadas à dosagem e mistura do material.

3.2.1 Resistência à compressão

O CAA com uma relação A/C semelhante apresentará uma resistência igual, ou por vezes até superior, quando comparado ao CCV. Isso se explica devido ao aumento na interface entre a pasta endurecida e os agregados, resultado da ausência de vibração (VERZEGNASSI, 2015). De acordo com Klug e Holchmacher (2003 *apud* MENDES, 2015) outros aspectos que influenciam na resistência à compressão do concreto são a composição da mistura, o tipo de cimento, os aditivos utilizados etc.

A resistência do CAA também se relaciona com o lançamento e adensamento da mistura, pois um controle rigoroso nessas etapas evitam grandes índices de vazios, muitas vezes provocados por falhas no processo de adensamento.

A NBR 5739 (ABNT, 2007) normatiza o procedimento para o ensaio de resistência à compressão de corpo-de-prova (CP) cilíndrico de concreto, os quais devem ser moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2016).

De acordo com as prescrições das normas mencionadas o CP, após a moldagem e desforma, deve ser submetido ao processo de cura dentro da câmara úmida até atingir a idade do ensaio. Após sua regularização, é iniciado o ensaio, o qual se prolonga até haver a ruptura da peça.

A resistência à compressão é determinada por meio da Equação 4:

$$f_c = \frac{4 F}{\pi \times D^2} \quad (4)$$

Onde:

f_c = resistência à compressão, em megapascais;

F = força máxima alcançada, em newtons;

D = diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

3.2.2 Resistência à tração

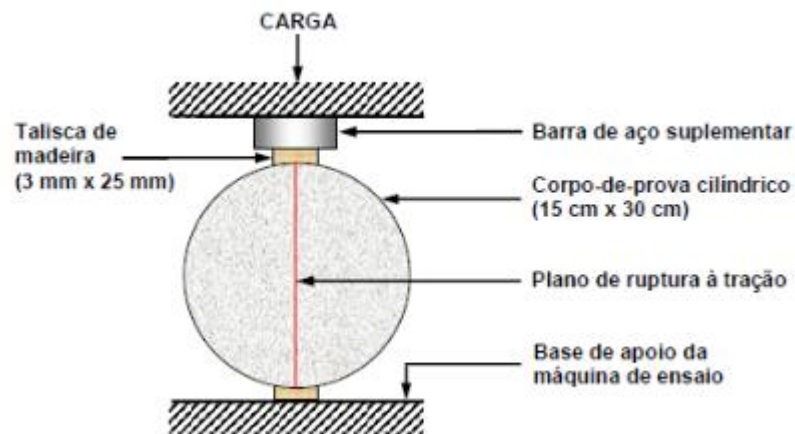
De acordo com Walravem (2010 *apud* REPETTE, 2011) a resistência à tração do CAA não apresenta uma elevação significativa quando comparada ao CCV, dessa forma, ela é admitida como igual ou levemente superior. A razão entre as resistências à compressão e à tração para o CAA é similar a do CCV (DOMONE, 2007 *apud* VERZEGNASSI, 2015).

Assim como no caso da resistência à compressão, a resistência à tração do CAA também é determinada conforme método para o CCV, por meio do ensaio de compressão diametral de CP cilíndrico, prescrito pela NBR 7222 (ABNT, 2011 a).

Conforme orientação da normatização, o CP deve ser mantido úmido desde o momento em que é retirado da câmara úmida até o início do ensaio.

O CP deve estar disposto na máquina de ensaio conforme Figura 21:

Figura 21 - Disposição do corpo-de-prova na máquina de ensaio



Fonte: LEAL, 2012.

A carga deve ser aplicada continuamente e sem choques até a ruptura do CP. Feito isso, a resistência à tração por compressão diametral é determinada por meio da Equação 5:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 F}{\pi d \ell} \quad (5)$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em megapascais;

F = força máxima obtida no ensaio, em newtons;

d = diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros;

ℓ = comprimento do corpo-de-prova, em milímetros.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos neste estudo, desenvolveu-se um programa experimental o qual compreende basicamente as seguintes etapas: escolha dos materiais constituintes, desenvolvimento do traço e determinação das propriedades do concreto.

Todo o desenvolvimento da parte experimental foi realizado no laboratório da empresa Realmix, situada em Aparecida de Goiânia, Goiás, que além de ícone na indústria nacional de produção de concreto, também é pioneira na aplicação de CAA no Brasil.

Os resultados da caracterização dos materiais (determinados previamente conforme normatização vigente) foram fornecidos pela Realmix, já que os insumos utilizados partiram do estoque da empresa.

O método de dosagem do CAA foi desenvolvido pela própria Realmix, e disponibilizado um traço somente para análise desse trabalho.

4.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

a) Cimento

Foi utilizado o cimento CP V-ARI, aglomerante hidráulico de alta resistência inicial. Conforme informações do fabricante, o cimento CP V-ARI atende as exigências da NBR 5733 (ABNT, 1991). Sua composição deve estar entre os limites estabelecidos pela norma, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial

Sigla	Resistência (MPa)	Componentes (% em massa)	
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
CP V-ARI	34,0*	100-95	0-5

* Resistência mínima à compressão aos 7 dias de idade.
Fonte: ABNT, 1991 - Adaptado.

As exigências químicas do cimento CP V-ARI são apresentadas na Tabela 4, enquanto os requisitos físicos e mecânicos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 4 - Exigências químicas

Determinações químicas	Limites (% em massa)
Resíduo insolúvel (RI)	-1,0
Perda ao fogo (PF)	- 4,5
Óxido de magnésio (MgO)	- 6,5
Trióxido de enxofre (SO ₃)	
- quando C3A do clínquer - 8%	- 3,5
- quando C3A do clínquer > 8%	- 4,5
Anidrido carbônico (CO ₂)	- 3,0

Fonte: ABNT, 1991.

Tabela 5 - Exigências físicas e mecânicas

Características e propriedades	Unidade	Limites	
Finura	Resíduo na peneira 75 µm	%	- 6,0
	Área específica	m ² /Kg	- 300
Tempo de início de pega	h	- 1	
Expansibilidade a quente	mm	- 5	
Resistência à compressão	1 dia de idade	Mpa	- 14,0
	3 dias de idade	Mpa	- 24,0
	7 dias de idade	Mpa	- 34

Fonte: ABNT, 1991.

b) Agregados

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural média, por possuir formato mais arredondado e textura lisa, a fim de reduzir a probabilidade de vazios. Como agregado graúdo foi utilizado a brita 0, já que a mesma possui dimensão máxima característica de 9,5 mm, permitindo uma melhor uniformidade na fluidez da mistura.

A caracterização desses materiais foi fornecida pela empresa Realmix, e encontra-se respectivamente nas Tabelas 6 e 7. A estocagem dos materiais é feita por meio de baias, conforme Figura 22.

Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Resultado	
Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248, 2003)	Módulo de finura	2,15
	Dimensão máxima característica	2,36 mm
Massa específica (ABNT NBR NM 52, 2009 b)	2,62 g/cm ³	
Massa aparente (ABNT NBR NM 52, 2009 b)	1,50 g/cm ³	

Fonte: DADOS FORNECIDOS PELA REALMIX, 2018.

Tabela 7 - Caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Resultado	
Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248, 2003)	Módulo de finura	5,49
	Dimensão máxima característica	9,5 mm
Massa específica (ABNT NBR NM 53, 2009 c)	2,78 g/cm ³	
Massa aparente (ABNT NBR NM 53, 2009 c)	1,47 g/cm ³	

Fonte: DADOS FORNECIDOS PELA REALMIX, 2018.

Figura 22 - Armazenamento dos agregados

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

c) Adições minerais

Como fino foi utilizado o pó de pedra (material resultante do britamento de pedra), conforme Figura 23, o qual permite um eficiente empacotamento granulométrico. Além de vantagens técnicas, o uso desse material envolve questões ambientais, já que se trata de rejeito de pedreiras, o que impede seu descarte no meio ambiente de forma inadequada.

Figura 23 - Armazenamento do pó de pedra e brita



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

d) Aditivos

Para a dosagem foi utilizado dois tipos de aditivos:

- Aditivo plastificante (Figura 24): utilizado com a finalidade de proporcionar uma melhor trabalhabilidade ao concreto enquanto convencional;
- Aditivo superplastificante de 3ª geração (Figura 25): seu uso confere à mistura a fluidez necessária para obter o CAA.

As propriedades de ambos os aditivos são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades dos aditivos

Propriedades	Aditivo	
	Plastificante	Superplastificante
Composição básica	Dispersantes orgânicos	Policarboxilato
Densidade	1,17 ± 0,02 kg/ litro	1,08 ± 0,02 kg/ litro
pH	10,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Marrom	Castanho

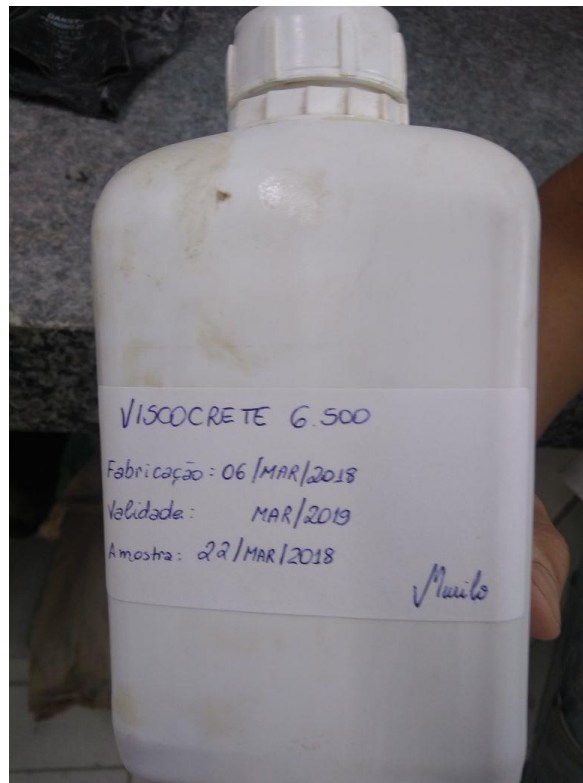
Fonte: DADOS FORNECIDOS PELA REALMIX, 2018.

Figura 24 - Aditivo plastificante



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 25 - Aditivo superplastificante de 3ª geração



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para obtenção da amostra de CAA, partiu-se do traço concedido pela empresa Realmix, o qual foi baseado nos seguintes parâmetros:

- Resistência do concreto (fck) desejada: 25 MPa;
- Relação a/c em função da resistência: 0,54;
- Teor de argamassa: 63%;
- Teor de ar incorporado: 2,5%.

Na Tabela 9 encontram-se os resultados esperados para o concreto em estudo:

Tabela 9 - Valores esperados do concreto

Fck esperado	25	MPa
Abatimento (<i>Slump test</i> *)	50	mm
Espalhamento (<i>Slump flow test</i> **)	SF1: 550 a 650	mm
Habilidade passante (Caixa L**)	PL2 \geq 0,80	
Habilidade passante (Anel J**)	PJ2: 25 a 50	mm

*Ensaio do CCV, **Ensaio do CAA

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

O traço unitário utilizado a princípio foi o de 1 : 2,74 : 2,21 : 0,54 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : a/c). Para compor os agregados miúdos foi utilizada uma proporção experimental de 49% de areia natural e 51% de pó de pedra. Inicialmente foi adotada uma relação a/c igual a 0,54. O aditivo plastificante foi utilizado em uma proporção de 0,85% em relação à massa de cimento. Já o aditivo superplastificante de 3ª geração foi adicionado em pequenas quantidades até se atingir a fluidez desejada, partindo inicialmente de uma proporção de 0,925% da massa do aglomerante.

Na Tabela 10 encontra-se a composição do traço experimental para 0,03m³ de concreto. Todos os insumos utilizados foram devidamente pesados (Figura 26), sendo a mistura realizada em uma betoneira com capacidade para 120 L (Figura 27).

Tabela 10 - Composição do traço para 0,03m³ de concreto

Material	Quantidade
Cimento	10,80 Kg
Areia natural	14,55 Kg
Pó de pedra	15,00 Kg
Brita 0	23,85 Kg
Aditivo plastificante	91,80 g
Aditivo superplastificante de 3ª geração	100,00 g
Água	5,85 L

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 26 - Materiais pesados para dosagem



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 27 - Betoneira com capacidade para 120 L



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

A sequência da mistura adotada para o concreto enquanto convencional foi a seguinte:

1. Umedecimento da betoneira com água;
2. Agregados graúdos juntamente com $\frac{1}{2}$ parte da água;
3. Agregados miúdos (pó de pedra e areia natural);
4. Cimento;
5. Restante da água;
6. Aditivo plastificante;
7. Mistura até atingir homogeneidade.

Realizada a mistura com o traço conforme a Tabela 10 (exceto o aditivo superplastificante de 3ª geração), o concreto apresentou o seguinte aspecto (Figura 28):

Figura 28 - Aspecto do CCV



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Após uma análise visual, deduziu-se pelo aspecto da mistura, que não seria atingido o abatimento de 50 mm, conforme esperado. A primeira medida adotada para correção foi aumentar gradualmente a quantidade de água, para que através da pasta (cimento + água) houvesse um maior envolvimento entre os agregados e de certa forma, conferir uma melhor trabalhabilidade a mistura.

A quantidade de água adicionada foi de 100 mL. Após essa adição, foi realizado o ensaio do tronco de cone, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998 b), alcançando o abatimento de 20 mm (Figura 29). Visualmente, o concreto apresentou uma estrutura um pouco mais compacta. Entretanto, ainda foram necessárias algumas melhorias.

Figura 29 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Após essa análise, foi adicionada mais 150 mL de água a mistura (Figura 30). Notou-se que ocorreu um melhor preenchimento entre os agregados. Para aperfeiçoar a trabalhabilidade, acrescentou-se mais 50 mL de água (Figura 31).

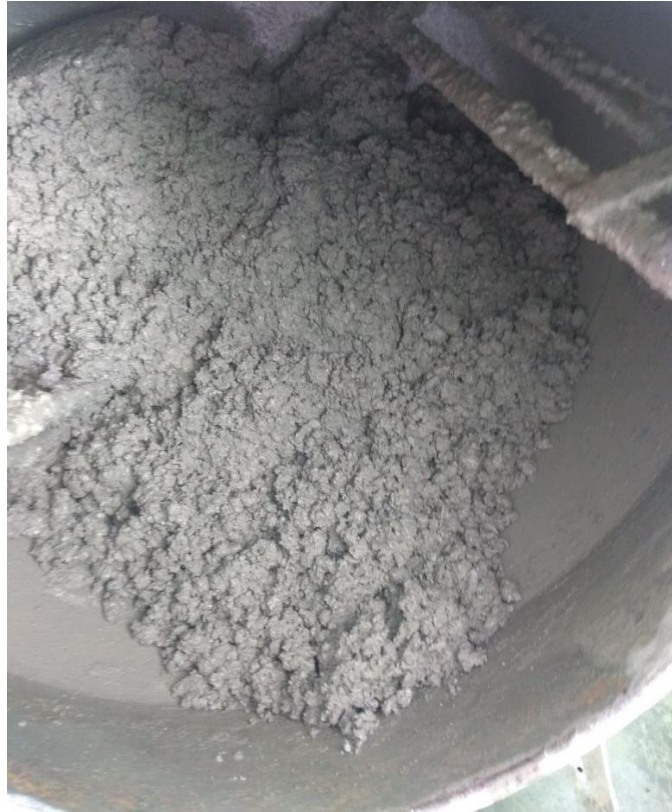
Nessa etapa realizou-se novamente o ensaio do tronco de cone e foi constatado o abatimento de 30 mm (Figura 32).

Figura 30 - Mistura com mais 150 mL de água



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 31 - Mistura com mais 50 mL de água



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 32 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Na Figura 32 foi possível perceber que a superfície do concreto se encontrava bem mais compacta do que o primeiro ensaio realizado (Figura 29) e com menor índice de vazios.

Apesar desse traço ter apresentado um abatimento menor que o esperado, além de uma superfície com vazios, a dosagem para torná-lo um CAA continuou para possibilitar uma melhor análise. Ressaltando que até então, o concreto dosado foi o convencional.

Para alcançar as propriedades de autoadensabilidade, foi acrescido o aditivo superplastificante de 3ª geração, conforme quantidade indicada na Tabela 10. Nesse momento, observou-se nitidamente o concreto ganhando fluidez, e simultaneamente mantendo-se coeso. A fim de aumentar sua trabalhabilidade, foi adicionado mais 100 g de aditivo (Figura 33).

É necessário atentar-se nessa etapa de incorporação do aditivo, pois em situações de superdosagem o concreto pode apresentar falhas como: elevada exsudação, segregação, forte retardamento, o que conseqüentemente pode causar o não endurecimento do concreto ou até mesmo a perda de resistência.

Figura 33 - Mistura com 200 g de aditivo superplastificante



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Ainda em uma análise visual, identificou-se que a mistura não alcançou a fluidez esperada. Por esse motivo, acrescentou-se ao concreto mais 150 mL de água (Figura 34).

Figura 34 - Mistura com mais 150 mL de água



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Comparando as Figuras 33 e 34, ficou evidenciado que a mistura obteve melhor fluidez. Entretanto, a superfície do concreto apresentou-se um pouco áspera.

Para que não afetasse negativamente a resistência à compressão do concreto, foi fixada a menor relação a/c possível.

Para averiguar a fluidez do concreto de forma mais precisa, realizou-se o ensaio *slump flow test*, que mede o seu espalhamento, conforme item 3.1.1 deste trabalho.

A Figura 35 mostra o aspecto do concreto após ter seu espalhamento cessado espontaneamente. O espalhamento do concreto (SF) foi de 535 mm, não se enquadrando na classe SF1 (Conforme Tabela 2).

Figura 35 - Ensaio *slump flow test* da amostra



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Apesar desse resultado, é possível afirmar através de uma análise visual, que o concreto dosado não apresentou evidências de exsudação ou segregação, além de ter demonstrado uniformidade na distribuição dos agregados graúdos.

Com a finalidade de aperfeiçoar o preenchimento entre os agregados, consequentemente minimizando o índice de vazios (Figura 32) e melhorando o aspecto áspero da mistura, foi dosado um novo traço.

Para a otimização do novo traço, elevou-se o teor de argamassa para 66% e adequou a relação a/c para 0,56.

Devido ao fato do pó de pedra não apresentar granulometria contínua, contendo uma pequena porcentagem de grãos com uma finura maior que o pó propriamente dito (explicando o aspecto áspero do concreto), sua porcentagem em relação a areia natural foi reduzida. A nova mistura contou com 62% de areia natural e 38% de pó de pedra.

Com as alterações feitas, o traço unitário foi redefinido para 1 : 2,71 : 1,87 : 0,56. O aditivo plastificante foi adicionado em 0,90% em relação à massa de cimento. Já o aditivo superplastificante de 3ª geração foi adicionado aos poucos, partindo de uma relação de 0,89%.

A quantidade de cada material utilizado para o desenvolvimento do novo traço encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Composição do novo traço para 0,03m³ de concreto

Material	Quantidade
Cimento	11,25 Kg
Areia natural	18,75 Kg
Pó de pedra	11,70 Kg
Brita 0	21,00 Kg
Aditivo plastificante	101,40 g
Aditivo superplastificante de 3ª geração	100,00 g
Água	6,30 L

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Os materiais foram pesados e separados (Figura 36).

Realizada a mistura dos materiais (cimento, areia natural, pó de pedra, brita 0, aditivo plastificante e água), o concreto apresentou um melhor aspecto (Figura 37) em comparação ao traço anterior (Figura 28).

Elevar o teor de argamassa e diminuir a proporção de pó de pedra propiciou a mistura uma superfície mais lisa e conseqüentemente com melhor acabamento.

Sem qualquer alteração nesse novo traço, foi realizado o ensaio de *slump test* (Figura 38).

Figura 36 - Materiais pesados para dosagem



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 37 - Aspecto do CCV



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 38 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Observando a Figura 38, é possível constatar que elevar o teor de argamassa além de beneficiar sua textura, também permitiu ao concreto uma superfície bem mais compacta e praticamente sem vazios. Ao bater a haste metálica na placa-base, verificou-se que o concreto ficou coeso, já que não houve desprendimento de agregado graúdo.

Portanto, o teor de argamassa adotado no concreto é o ideal para materiais com as características apresentadas no item 4.1.

O abatimento obtido através deste ensaio foi de 30 mm. Devido ao fato do CCV não ter apresentado a trabalhabilidade esperada, foi adicionada a mistura mais 200 mL de água, sendo realizado posteriormente outro ensaio de *slump test* (Figura 39), o qual apresentou um abatimento de 50 mm, conforme esperado (Tabela 9).

Figura 39 - Ensaio do tronco de cone para determinação do abatimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Alcançado o abatimento esperado do CCV, iniciou-se a incorporação do aditivo superplastificante de 3ª geração na proporção de 0,89% em relação à massa de cimento. Após esse procedimento, a mistura apresentou o aspecto conforme Figura 40.

Com a finalidade de aperfeiçoar a trabalhabilidade do concreto, acrescentou-se a mistura mais 50 g do aditivo (Figura 41).

Figura 40 - Mistura com 100 g de aditivo superplastificante



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 41 - Mistura com mais 50 g de aditivo superplastificante



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Para analisar a fluidez do concreto dosado foi realizado o ensaio do *slump flow test* (Figura 42), de acordo com o item 3.1.1 deste trabalho.

Por meio deste ensaio, foi possível visualizar a habilidade de fluxo espontâneo da mistura, o qual ocorreu sem auxílio de qualquer equipamento. O espalhamento (SF) alcançado foi de 595 mm, enquadrando-se na classe SF 1, a qual aplica-se a estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura (Tabela 2).

Observando-se a Figura 42, é possível constatar que o CAA dosado manteve-se fluido e coeso, já que não houve segregação ou exsudação, mostrando uma distribuição uniforme dos agregados graúdos na pasta. Dessa forma, em uma suposta aplicação, o concreto seria capaz de preencher todos os espaços da fôrma.

Figura 42 - Ensaio de *slump flow test* da amostra



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Analisada a fluidez do concreto, partiu-se para os ensaios que verificam sua habilidade passante. Para isso, foram realizados os ensaios do anel J e caixa L.

O ensaio do anel J (Figura 43) foi realizado conforme orientações do item 3.1.2 deste trabalho, obtendo o valor de PJ igual a 49,50 mm, enquadrando-se na classe PJ 2, podendo ser aplicado em elementos estruturais com armadura entre 80 mm a 100 mm (Tabela 2).

Para o ensaio da caixa L (Figura 44), foram seguidas as orientações conforme o item 3.1.3 deste trabalho. O resultado obtido para PL 2 foi igual a 0,82, podendo ser utilizado na maioria das aplicações, especialmente nas estruturas que tenham espaçamento de 60 mm a 80 mm nas suas armaduras (Tabela 2).

Figura 43 - Ensaio do anel J da amostra



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 44 - Ensaio da caixa L da amostra



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Por meio de uma observação ao comportamento do CAA nas Figuras 43 e 44, constatou-se que a mistura é capaz de preencher os espaços, vencendo possíveis obstáculos, como armaduras ou fôrmas complexas.

Para análise das propriedades do CAA no estado endurecido, foram moldados 09 CP's de dimensões 10x20 cm (Figura 45) conforme prescreve a NBR 5738 (ABNT, 2016), para posteriormente serem ensaiados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007) para determinação da resistência à compressão do concreto dosado.

Figura 45 - Corpos-de-prova moldados



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Após o procedimento de moldagem, os CP's foram curados ao tempo, ficando protegidos de intempéries (como chuva) por uma cobertura, e respeitando o prazo de 24 horas.

Decorrido esse tempo, os CP's foram desmoldados, etiquetados e depositados em tanques contendo mistura de água e cal (Figura 46), para continuarem em processo de cura até atingir as idades dos ensaios, sendo essas nos prazos de 03, 07 e 28 dias.

Os CP's foram armazenados nos tanques enumerados de acordo com o dia do mês a serem rompidos, mantendo-os organizados e minimizando as chances de serem ensaiados em datas erradas.

Para todos os CP's foi adotado o seguinte procedimento nas respectivas datas de rompimento:

1. Regularização (nivelamento das bases) do CP na retífica (Figura 47);
2. Rompimento do CP na prensa hidráulica (Figura 48).

Figura 46 - Tanques para procedimento de cura dos CP's



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 47 - Retífica para regularização dos CP's



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Figura 48 - Prensa hidráulica para rompimento dos CP's



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão do concreto nas datas mencionadas encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão

CP	Idade da ruptura (Dias)	fck (MPa)	fck médio (MPa)
CP-01	3	27,69	25,10
CP-02	3	25,81	
CP-03	3	21,80	
CP-04	7	33,90	31,93
CP-05	7	31,30	
CP-06	7	30,60	
CP-07	28	36,20	35,57
CP-08	28	35,70	
CP-09	28	34,80	

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018.

Conforme consta na Tabela 12, as resistências médias à compressão variaram de 25,10 MPa, aos 03 dias, a 35,57 MPa, aos 28 dias, superando o valor esperado (Tabela 09).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para caracterizar o concreto como autoadensável é essencial que suas propriedades no estado fresco sejam avaliadas por meio de ensaios normatizados. Somente depois de constatadas essas particularidades que é dada continuidade a dosagem para posteriormente comprovar suas propriedades mecânicas. Para que as vantagens do CAA sejam alcançadas, tanto as propriedades no estado fresco, como no estado endurecido devem ser conhecidas detalhadamente.

Tendo em vista as propriedades do CAA no estado fresco, os resultados obtidos com o segundo traço dosado enquadram-se nos limites da literatura deste trabalho. O CAA foi classificado como SF1, PJ2 e PL2.

Dessa forma, analisando os resultados obtidos nos ensaios, foi possível constatar que o CAA apresentou uma fluidez adequada, se mantendo coeso ao passar por obstáculos, garantindo sua habilidade passante sem segregar ou exsudar. Para que o concreto, enquanto convencional, alcançasse a trabalhabilidade requerida e posteriormente torná-lo autoadensável, foi necessário adequar a mistura para um teor de argamassa relativamente elevado, fixando na menor relação a/c possível, para que não houvesse efeitos negativos na resistência mecânica do concreto. Além disso, o ajuste da proporção entre materiais finos e agregados permitiu a mistura um melhor empacotamento granulométrico, reduzindo o índice de vazios.

No que se refere à resistência mecânica do CAA, o concreto dosado apresentou uma resistência à compressão maior do que a esperada, com valor médio de 35,57 MPa aos 28 dias, não somente por fatores comuns como relação a/c, materiais utilizados, reduzido índice de vazios etc. como também por dispensar o adensamento e facilitar o seu lançamento (o que requer menos habilidade do operário), etapas as quais geram muitos problemas na durabilidade de um CCV. Ou seja, a durabilidade do CAA pode ser mais eficiente do que a do CCV, por reduzir prováveis erros na fase de aplicação.

5.1 PROPOSTAS PARA FUTUROS ESTUDOS

Por tratar-se de um assunto pouco difundido no âmbito da construção civil e apresentar diversas vantagens quando comparado ao CCV, o CAA possui numerosas alternativas como propostas para trabalhos futuros, como por exemplo:

- Desenvolver um traço para CAA, partindo de um método de dosagem existente, utilizando materiais da região de Anápolis, Goiás (comumente aplicados em obras locais);
- Realizar a dosagem de CAA com diferentes tipos de adições minerais, como fíler calcário, cinza da casca de arroz, sílica ativa, etc., analisando a influência de cada material no estado fresco e endurecido do CAA;
- Realizar um estudo comparativo entre as propriedades do CCV e do CAA.

REFERÊNCIAS

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

ARAÚJO, Janaína das Graças. **Influências de adições minerais pozolânicas e de finos de pedra na propriedades mecânicas e na microestrutura do concreto auto-adensável**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. 1991.

_____. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2016.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 2007.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. 2009 a.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. 2011 a.

_____. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**. 2011 b.

_____. **NBR 15823-1: Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco**. 2017 a.

_____. **NBR 15823-2: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams**. 2017 b.

_____. **NBR 15823-3: Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante - Método do anel J**. 2017 c.

_____. **NBR 15823-4: Concreto autoadensável Parte 4: Determinação da habilidade passante - Métodos da caixa L e da caixa U**. 2017 d.

_____. **NBR 15823-5: Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V**. 2017 e.

_____. **NBR 15823-6: Concreto autoadensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação - Métodos da coluna de segregação e da peneira**. 2017 f.

_____. **NBR NM 33: Concreto - Amostragem em concreto fresco**. 1998 a.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. 2009 b.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2009 c.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998 b.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. 2003.

CASTRO, A. L.. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho.** 2007. 302 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais - Área de Interinidades em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

DAROS, Bruna. **Estudo e desenvolvimento do concreto autoadensável com metacaulinita.** 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2009.

FARIA, Renato. Escultura Monolítica. **Téchne**, [s.l.], n. 129, dez. 2007. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo287507-2.aspx>>. Acesso em: 04 nov. 2017.

_____. Solução Fluida. **Téchne**, [s.l.], n. 132, mar. 2008. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/132/artigo286483-1.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

SILVA FILHO, L.C.; KIRCHHEIM, A. P.; DAL MOLIN, D. C. C.; TUTIKIAN, B. F. **Desenvolvimento de traço de concreto auto-adensável branco (CAAB) - Museu Iberê Camargo.** In: Relatório técnico n. 31, 2004.

FOCHS, Rafael Gómez. **Estudo comparativo entre métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GEYER, André Luiz Bottolacci; SÁ, Rodrigo Resende. Concreto autoadensável: Uma nova tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia. **Realmix**, Aparecida de Goiânia, n. 1, abr. 2005.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Paulo Rodrigues. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2009.

LEAL, Antonio Carlos Ferreira de Souza. **Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília.** 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

LEITE, Francisco Cláudio Morato. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado graúdo no comportamento do concreto auto-adensável.** 2007. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

LISBOA, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

LORINI, Marcio Roberto. **Análise das propriedades mecânicas de concretos com substituição parcial de cimento por cinza de casca de arroz em concretos autoadensáveis.** 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014.

LOTURCO, Bruno; FARIA, Renato. Vantagens Concretas. **Téchne**, [s.l], n. 140, nov. 2008. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo286551-1.aspx>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto auto-adensável:** Caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência. 2011. 175 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, Karoline Alves. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário.** 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENDES, Cleiton João. **Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz:** Estudo das propriedades mecânicas. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

MORAES, Karoline Alves de Melo. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável.** 2010. 210 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

NACANO, Evelin Thais. **Avaliação do comportamento reológico e colorimétrico de chocolates.** 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Campo Mourão, 2013.

NUNES, S. C. B. **Betão auto-compactável: Tecnologia e propriedades.** 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Estruturas de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2001.

OLIVEIRA, Ronaldo Sabino. **Concreto autoadensável: Solução ou modismo.** 2011. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, [s.l.], 2011.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: As origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, n. 53, jan. fev. mar. 2009.

PEINADO, Hugo Sefrian *et al.* Controle, recebimento e aplicação de concreto autoadensável em canteiro de obras. **Téchne**, [s.l.], n. 193, abr. 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/193/artigo287003-1.aspx>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

REPETTE, Wellington Longuini. Concreto Autoadensável. In: **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 2 v. cap. 48.

_____. Concreto autoadensável – características e aplicação. **Téchne**, [s.l.], n. 135, jun. 2008. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/135/concreto-autoadensavel-caracteristicas-e-aplicacao-285721-1.aspx>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

ROSA, Cristina. **11 curiosidades sobre a Sagrada Família.** 2015. Disponível em: <<http://www.soldebarcelona.es/11-curiosidades-sobre-a-sagrada-familia/>> Acesso em: 03 nov. 2017.

SANTOS, Altair. **Goiânia ajudou a “tropicalizar” concreto autoadensável.** 2012. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/goiania-ajudou-a-tropicalizar-concreto-autoadensavel/>> Acesso em: 7 de novembro de 2017.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para dosagem de concretos autoadensáveis.** 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

_____. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis.** 2007. 162 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto autoadensável.** São Paulo: Pini, 2008.

VERZEGNASSI, Emerson. **Estudo das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto leve autoadensável.** 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

VICENTINI, Alan Henrique *et al.* Produção de concreto autoadensável (CAA) com substituição parcial de cimento por metacaulim. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Volume 13, n. 1, 2017.

VIEIRA, Romney Anderson Gonçalves. **Vantagens do concreto autoadensável comparado ao concreto convencional.** 2013. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, [s.l], 2013.