

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ELTON SCHMITT BARIVIERA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVADA E SUBMETIDO A
DIFERENTES TIPOS DE CURA**

CASCADEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ELTON SCHMITT BARIVIERA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVADA E SUBMETIDO A
DIFERENTES TIPOS DE CURA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora Orientadora: Engenheira Civil Esp. Andréa Resende Souza

CASCADEL - PR
2016

RESUMO

Com o avanço das tecnologias na construção civil e o crescente aprimoramento de matérias primas para a utilização na indústria da construção civil, o concreto autoadensável vem sendo objetivo de grandes estudos, a fim de melhorar sua performance tanto na dosagem quanto na utilização, com o objetivo de buscar uma melhor desenvoltura no produto final com um custo baixo. O concreto auto adensável exige um rigor no controle desde sua dosagem até a execução, pois qualquer falha pode trazer sérios prejuízos ao material ou a estrutura. Dentre os aspectos mais importantes relativos à qualidade total de qualquer concreto está a cura, o que se torna fundamental quando se trata de concretos de alto desempenho, assim como o concreto auto adensável. Esta pesquisa verifica a influência da adição de sílica ativada no concreto auto adensável produzido com cimento CP-V ARI e do tipo de cura nas propriedades mecânicas do concreto (resistência à compressão). No estudo experimental foi produzido concreto auto adensável de resistência à compressão estimada de 40 MPa após 7 dias, a partir de um traço já estabelecido, utilizando cimento CP-V ARI, sílica ativa, hiperplastificante, areia média natural e brita 0 de basalto. Foram aplicados 3 curas de diferentes tipos: cura úmida de 3, 7, 28 dias dentro da câmara úmida; cura ambiente (cura ao ar) 3, 7 e 28 dias; cura química com água saturada em cal hidratada (cura muito utilizada em canteiros de obras) de 3, 7 e 28 dias. Para esse experimento, o concreto de resistência estimada aos 7 dias de 40 MPa, o melhor tipo de cura foi “via úmida” (cura em câmara úmida e cura através de aspersão de água) e a maior resistência obtida com 28 dias foi de 82,3 Mpa em cura química. Quanto a cura química com 7 dias, apresentou resistência inferior ao de cura ao ar, não havendo repostas para tal, pois com 3 e 28 apresentaram resultados maiores que em relação a cura ambiente.

Palavras-chave: Compressão. Concreto autoadensável. Cura.

DEDICATÓRIA

*Aos meus maravilhosos pais, Jaime e Marly,
pelas oportunidades, incentivo, amor e compreensão
ao longo da vida acadêmica.*

Sem eles eu jamais conquistaria mais este desafio.

*Ao meu irmão, Giovane,
pela grande amizade, companheirismo e aprendizado.*

*A minha namorada Jessica,
pelo imenso carinho a mim dispensado e compreensão
na decorrer dessa jornada.*

Eu amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo gostaria de agradecer a Deus pela minha vida maravilhosa, pela saúde e pelas oportunidades que me proporciona todos os dias. Sem Ele ao meu lado nada disso seria possível.

A toda minha família, em especial meus pais e meu irmão, pelo incentivo, imenso carinho, compreensão e esforço que permitiu conquistar este desafio.

A minha namorada, que esteve ao meu lado nesses cinco anos de graduação, prestando todo tipo de apoio e entendendo o quão árdua foi a caminhada para chegar até aqui.

A minha orientadora e grande Professora, Andréa Resende Souza, pela competente e segura orientação, interesse, dedicação, paciência e permanente disponibilidade durante este trabalho.

Ao Centro Universitário Assis Gurgacz, mais precisamente à coordenação do curso de Engenharia Civil, em especial à coordenadora e engenheira civil Débora Felten, as assessoras da coordenação Helena Marca e Andressa Ferreira, pela ajuda com seriedade e profissionalismo na realização dos ensaios deste trabalho.

Aos amigos Guilherme Vital, Hilário, Carlos Germano e Ana Carolina pela amizade e grande ajuda durante todo o curso.

Aos queridos e amados Rony e Ryderson, pelo incentivo, paciência e ajuda durante esta árdua caminhada, sempre me apoiando nos momentos difíceis, fazendo-me acreditar na vitória.

A Cobra Construções e Tecnosil pela doação de materiais utilizados no programa experimental.

Aos meus companheiros de jornada acadêmica, grandes amigos. Foi uma satisfação imensa ter conhecido cada um de vocês.

A todos que, direta ou indiretamente, propiciaram a realização deste trabalho.

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e física do cimento.	24
---	----

Tabela 2 - Caracterização física do agregado miúdo.....	25
Tabela 3 - Composição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211/1983).....	25
Tabela 4 – Caracterização física do agregado graúdo pedrisco – Brita 0.....	26
Tabela 5 - Composição granulométrica do agregado graúdo pedrisco – Brita 0 (NBR 7217/87).	26
Tabela 6 - Caracterização da sílica ativa	27
Tabela 7 - Caracterização do aditivo	27
Tabela 8 - Composição do concreto testado.....	29
Tabela 9 – Resistência à compressão aos 03, 07 e 28 dias para os diferentes tipos e tempos de duração de cura.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corpos de prova depois da moldagem	32
Figura 2: Corpos de prova na câmara úmida	33
Figura 3: Cura química	34
Figura 4: <i>Slump flow</i>	36
Figura 5: Caixa-L	37
Figura 6: Funil-V	37
Figura 7: Resistência à compressão aos 7 dias para os diferentes tipos de cura para resistência estimada 40 Mpa	39

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
1.1 INTRODUÇÃO	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo Geral	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	11
CAPÍTULO 2	13
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.1 Concreto Autoadensável	13
2.1.1.1 Cimento	13
2.1.1.2 Adições Quimicamente Ativas	14
2.1.1.3 Agregados Miúdos	15
2.1.1.4 Agregados Graúdos	16
2.1.1.5 Aditivos	16
2.1.2 Determinação Do Traço	17
2.1.3 Propriedades Do Concreto Autoadensável	17
2.1.3.1 Estado Fresco	17
2.1.3.2 Estado Endurecido	18
2.1.4 Métodos de Cura	18
2.1.4.1 Cura Úmida Propriedades	19
2.1.4.2 Cura Ao Ar Propriedades	20
2.1.4.3 Cura Química Propriedades	20
CAPÍTULO 3	23
3.1 METODOLOGIA	23
3.1.1 Escolha Dos Materiais	23
3.1.1.1 Cimento	23
3.1.1.2 Agregado Miúdo	24
3.1.1.3 Agregado Graúdo	25
3.1.1.4 Sílica Ativada (Adição mineral)	26
3.1.1.5 Aditivo	27
3.1.2 Traço	28
3.1.3 Coleta De Dados	29
3.1.3.1 Ensaios Quanto A Classificação Do CAA	29
3.1.4 Ensaios De Resistência À Compressão Nas Idades Determinadas, Submetidos A Métodos De Cura Diferentes	31
3.1.4.1 Moldagem Dos Corpos De Prova	31
3.1.4.2 Desforma Dos Corpos De Prova	32
3.1.5 Aplicação Da Cura E Armazenagem Dos Corpos De Prova	32
3.1.5.1 Cura Úmida	32
3.1.6 Cura química (Água saturada de cal)	33
3.1.7 Cura Ambiente	34
3.2 ANÁLISE DE DADOS	34
CAPÍTULO 4	35
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1.1 Slump-Flow	35

4.1.2 Caixa L	36
4.1.3 Funil V	37
4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO DO CONCRETO	38
CAPÍTULO 5	41
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
CAPÍTULO 6	42
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS	43

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem vem buscando aperfeiçoar seus materiais e métodos de construção, desde a utilização de pedra brutas e talhadas, barro, madeira. Fazendo essa análise inicial, notou-se que a medida que o homem evoluía de tal maneira, suas construções sempre estavam juntas e que também passou a demandar materiais de alta resistência, maior durabilidade e de melhor estética. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro e resistente como a pedra (VERÇOSA, 2003).

O concreto foi usado na construção de muros em cidades romanas no século IV a.C. e no século II a.C. este novo material começou a ser usado em edificações em Roma. A pozolana de Pozzuoli, Itália, localidade próxima ao Monte Vesúvio, foi utilizada em argamassas para construir notórias obras do império romano em sua grande parte, onde hoje se situa a Europa. Vitruvius reporta uma argamassa com proporção 1:2 de cal e pozolana. Gordura animal, leite e sangue foram usados como aditivos para incorporar a mistura (KAEFER, 1998).

O concreto vem sendo muito utilizado nos últimos anos, quando a humanidade se deparou com uma constante evolução populacional, econômica e industrial. Porém se tornou visível que de alguns anos para cá sua utilização vem aumentando consideravelmente, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias tanto para sua fabricação quanto para sua utilização.

Devido a essa fácil utilização e também pelo fato do cimento Portland (agente ligante dos agregados) ser composto de uma estrutura química de baixa complexidade, ficando assim mais favorável à otimizações e a sua excelente resistência à água, o concreto pôde ser empregado tanto em ambientes de agressão baixa, moderada como em ambientes fortemente agressivos. E, para atender a essas necessidades, desenvolveu-se os concretos de alta resistência (CAR).

Segundo Mehta e Aïtcin (1990), se dá muita importância ao concreto de alta resistência (CAR), já que a resistência à compressão é um fator muito importante e o que mais é observado por profissionais da área. Geralmente, utiliza-se alto desempenho como sinônimo de alta resistência, o que não é verdadeiro em todos os casos. CAD são concretos com uma ou mais propriedades superiores aos concretos convencionais, até então produzidos.

Em 1986, a Universidade de Tóquio desenvolveu um concreto de alto desempenho com uma excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência à segregação, o concreto

autoadensável (CAA) tem uma importante característica, que é o simples fato de ser produzido nas mesmas centrais e com os mesmos materiais empregados na produção de concreto convencional, brita, areia, cimento, adições e aditivos. O princípio fundamental para confecção de concreto fluido e resistente a segregação é o uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, combinados com teor de finos, sejam eles cimento Portland, sílica ativada, fillers ou areia fina.

A cura do concreto é um procedimento fundamental para que seja assegurada a hidratação do cimento e, conseqüentemente, o melhor desempenho do concreto, reduzindo a porosidade e contribuindo para o aumento da resistência mecânica. Dentre os tipos de cura utilizados, a cura térmica no vapor à pressão atmosférica tem como objetivo tornar esse processo mais rápido, obtendo resistências mecânicas desejadas em um curto período de tempo (BARDELLA *et al.*, 2006).

Em estudos de concretos produzidos com sílica ativa e curados em temperatura de 60°C, foi concluído por Bardella *et al.* (2007), que “Na cura ao ar, a resistência à compressão foi de aproximadamente 8% superior à resistência obtida pela cura térmica [...]”.

Este referido trabalho terá como objetivo analisar primeiramente a adição de sílica ativada na composição do concreto adensável, visando uma futura redução no volume de cimento e também analisar o melhor método de cura para tal, através de métodos de cura química, cura ao ar e cura úmida.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência à compressão de concretos autoadensáveis com adição de sílica ativada e submetidos a diferentes condições de cura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a análise de resistência para os tipos de cura úmida, ao ar e cura química;

- Verificar se haverá uma real possibilidade da redução do volume de cimento com a adição de sílica ativada em função do ganho de resistência;
- Verificar o ganho de resistência com o tempo para os diferentes tipos de cura, sendo nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como a industrialização do concreto vem crescendo em ritmo acelerado e também pelo fato desse trabalho ser voltado a uma indústria de pré-moldados, o referido trabalho traz como principal justificativa a obtenção de novas tecnologias de concreto auto adensáveis.

Com essas tecnologias e métodos de produção de concreto, as mesmas visam apresentar uma redução do custo de aplicação por metro cúbico, garantia de bom acabamento em concreto aparente; otimização de mão de obra com aumento de produtividade; diminuição do ruído; economia de energia elétrica; eliminação de vibração; aumento das possibilidades de trabalho com formas de pequenas dimensões em comparação ao sistema de concretagem convencional e, ainda, a vantagem de ser material ecológico, em função da necessidade de materiais finos em sua composição, podendo utilizar os resíduos industriais que são nocivos à natureza (Watanabe S. Paula, 2008).

E como contribuição pessoal, a realização deste trabalho trará um aprofundamento do conhecimento que o autor teve ao longo da formação acadêmica na área de matérias de construção civil e ciências dos materiais, também a possibilidade de aplicação em indústrias de pré-moldados, uma vez comprovada a eficiência esperada dos métodos usados.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual o melhor método de cura de concreto autoadensável, para uma produção de desforma rápida sem maiores danos a peça, em uma indústria de pré-moldado?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para a realização do trabalho, foram empregados concretos produzidos com cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) com sílica ativa (10% de substituição ao cimento em massa) para cada um dos diferentes tipos de cura utilizados.

Foi utilizado um traço coerente de concreto auto adensável já determinado pelo orientador deste trabalho. A execução desse traço, processos de cura e posteriores testes de compressão de corpos de prova foram realizados no laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Para cada tipo de cura se julgou necessário a confecção de 3 corpos de prova para cada idade, 3, 7 e 28 dias. As curas utilizadas foram a cura química a base de água saturada com cal hidratada, cura ao ar (temperatura ambiente) e cura úmida (câmara úmida).

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Concreto Autoadensável

Os tipos de materiais utilizados para a elaboração do concreto auto adensável, basicamente, são os mesmos utilizados para o concreto convencional, porém com maior quantidade de finos (adições minerais quimicamente ativas ou *fillers*), pelo fato do concreto autoadensável ter a necessidade de ser mais fluido e também de aditivos plastificantes, superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade quando houver necessidade.

A natureza dos materiais para produção de concreto auto adensável não é tão simples assim, pois existem cimentos e agregados com consideráveis variações químicas e físicas, bem como os minerais quimicamente ativados ou *fillers*, que podem ser utilizados simultaneamente, e não existem regras totalmente objetivas que permitam realizar a escolha dos materiais mais adequados.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), existe um consenso no meio técnico de que algumas características e propriedades dos materiais constituintes afetam o comportamento das misturas, permitindo otimizar as propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do concreto.

2.1.1.1 Cimento

Para a produção de concreto autoadensável não há uma critérios científicos ou técnicos que especifiquem o cimento mais adequado para a produção do mesmo. Sendo assim, o cimento mais indicado para a produção é aquele que apresenta a menor variabilidade em termos de resistência à compressão.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008, *apud* GJORV, O.E., 1992), atribui importância ao tipo de cimento no que tange a necessidade de água e trabalhabilidade da mistura, para as quais os fatores de controle são o conteúdo de aluminato tricálcico (C₃A) e a granulometria do cimento. Na medida em que a reologia de um cimento em particular é determinada,

principalmente pelo controle do C₃A (por meio da formação da etringita), quanto menor for a quantidade de C₃A, mais fácil será seu controle reológico, bem como o enrijecimento da mistura se dará em um período mais longo. Na prática, cimentos com teores de C₃A maiores do que 10% podem resultar em rápida perda da fluidez, dificultando a aplicação do concreto autoadensável em obras. Quando se trata de finura e de parâmetros reológicos, quanto maior a superfície específica do cimento, maior a quantidade dessas partículas em contato com a água, diminuindo a distância e aumentando a frequência de colisão entre elas, reduzindo a tensão de escoamento, aumentando a viscosidade da mistura. Assim, como a demanda por finos para o concreto autoadensável é elevada em virtude da necessidade de aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados, apesar de aumentarem os cuidados necessários com relação ao calor de hidratação e retração do concreto, devido a sua grande área de contato específica.

2.1.1.2 Adições Quimicamente Ativas

Uma das principais características do CAA é a sua elevada resistência à segregação, apesar da alta fluidez ou deformabilidade no estado fresco. Para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, normalmente são utilizados aditivos modificadores de viscosidade e/ou adições minerais. As adições minerais podem desempenhar um papel importante para a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente.

As adições minerais quimicamente ativas podem ser tanto material pozolânico como material cimentante. O material pozolânico é definido pela NBR 12653 (1992) como um material que reage quimicamente com o Ca(OH)₂, produto de hidratação do cimento Portland, à temperatura ambiente para formar compostos resistentes. Ou seja, depende da presença do cimento Portland para atuar.

O concreto autoadensável podem ser obtidos tanto com as adições pozolânicas como com as cimentantes, normalmente utilizadas nos CCV (como cinza volante ou escória de alto-forno). Entretanto, as adições pozolânicas ultrafinas, como sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz, mostram-se mais efetivas no aumento da coesão do concreto autoadensável, bem como no aumento da resistência e da durabilidade.

A sílica ativa - SiO₂ - é um produto mineral extraído da fabricação de silício ou de ligas de ferro silício, a partir de quartzo de elevada pureza e carvão em forno elétrico de eletrodos de arco submerso. Possuem forma de partículas esféricas extremamente pequenas, e

seu pequeno tamanho acelera as reações com o Ca(OH)_2 produzido na hidratação do cimento Portland.

Por ser extremamente fina, a sílica ativa tem uma massa unitária muito baixa, em torno de 200 kg/m³ a 300 kg/m³. Em geral, as partículas de sílica ativa tem diâmetro menor que 0,1 µm (NEVILLE, 1997).

A sílica ativa, quando adicionada ao cimento, age ativamente em concretos e argamassas, conferindo-lhes alta resistência, baixa permeabilidade, e, por consequência, maior durabilidade. Em certos casos, o uso da sílica ativa permite outros benefícios como a redução da exsudação e a melhoria da coesão da mistura.

Em decorrência da redução da exsudação, a sílica ativa não permite a presença de água aprisionada em torno das partículas maiores de agregado graúdo. Desta forma, fica reduzida a porosidade na zona de interface, em relação ao que ocorre com um concreto sem sílica ativa. Segundo Neville (1997), a reação subsequente da sílica ativa resulta numa porosidade ainda menor na região da interface, que em consequência deixa de ser a mais suscetível quanto à resistência e à permeabilidade.

2.1.1.3 Agregados Miúdos

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) em um campo geral, todos os tipos de agregados miúdos naturais ou industrializados podem ser utilizados no concreto autoadensável, desde que isentos de agentes nocivos e impurezas. Podem ser usados silícios ou areias calcárias. Partículas menores que 0,125 mm são consideradas como pó e são muito importantes para a reologia do concreto autoadensável. Uma curva granulométrica contínua, onde os grãos menores dos agregados preenchem os espaços deixados pelos grãos maiores, proporciona melhor resistência à segregação para os CAA. De modo geral, os agregados miúdos representam entre 40 e 50% do volume nas argamassas. Areias naturais são mais adequadas por apresentarem grãos com forma mais uniforme e arredondada. Areias artificiais, obtidas pela britagem de pedras apresentam grãos com elevada angulosidade e aspereza superficial, sendo menos indicadas. O aspecto áspero e anguloso dos grãos causa maior intertravamento das partículas e demanda maior consumo de água, levando ao aumento de pasta e aditivos superplastificantes para se conseguir a fluidez necessária. Com relação ao tamanho das partículas, são preferíveis areias médias-finas e finas. Areias grossas necessitam de aumento no teor de pasta.

2.1.1.4 Agregados Graúdos

Para garantir a passagem do concreto por todos os obstáculos durante o lançamento e reduzir a tendência à segregação, as exigências quanto a dimensão máxima característica do agregado graúdo são mais restritivas. Gomes e Maestro (2005, *apud* Tutikian; Dal Molin, 2008) recomendam que a dimensão máxima característica do agregado graúdo seja inferior a $2/3$ do espaçamento entre barras ou grupos de barras e a $3/4$ do cobrimento mínimo de concreto às armaduras. Na prática, isso implica em não utilizar tamanhos máximos superiores a 19 mm, sendo habituais os tamanhos compreendidos entre 12,5 e 19 mm.

Na composição do concreto, a aderência agregado-pasta de cimento exerce um papel importante para a interação entre os dois componentes. Assim, a forma e textura superficial do agregado são fatores relevantes no comportamento mecânico. Embora agregados angulares com superfícies ásperas apresentem melhor aderência com a pasta de cimento que agregados lisos e arredondados, podem surgir efeitos opostos no aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade se a angulosidade for muito acentuada. Por isso, indica-se para CAA agregados que possuam coeficiente de forma o mais próximo possível de 1.

A distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, como resultado, pode alterar a fração volumétrica das britas que serão incorporadas em uma mistura de concreto. A fração volumétrica está relacionada, principalmente, ao módulo de elasticidade do concreto e à retração por secagem, sendo menos deformáveis e com menores possibilidades de fissurarem por retração na secagem os concretos com mais agregados e, conseqüentemente, com menor teor de argamassa (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

2.1.1.5 Aditivos

Os aditivos denominados de superplastificantes ou dispersantes são um componente essencial para a produção do CAA, para promover a trabalhabilidade necessária. Esse aditivo é o responsável pela elevada fluidez da mistura devido à sua capacidade de redução de água, o que o torna adequado para concretos aplicados em áreas com pequena acessibilidade ou com alta densidade de armadura, além de ser capaz de aumentar a bombeabilidade do concreto. Os dispersantes são compostos orgânicos que possuem a propriedade de aumentar a fluidez da mistura composta por materiais cimentícios, mantendo constante o consumo de água ou, de

forma equivalente, permitem a redução da quantidade de água, mantendo constante a fluidez da mistura. Outros tipos de aditivos podem ser incorporados quando necessário como, por exemplo, agentes que modificam a viscosidade (tipo VMA), aditivos incorporadores de ar (tipo AEA), retardadores ou aceleradores de pega, entre outros, conforme a necessidade do produto final. Os superplastificantes a base de policarboxilato são os mais usuais e promovem a dispersão das partículas, melhorando a fluidez da pasta. Os aditivos promotores de viscosidade, constituídos basicamente de polímeros solúveis em água, são empregados para melhorar a resistência à segregação dos concretos autoadensáveis. Esses produtos são responsáveis pela retenção da água, diminuindo a exsudação e aumentando a viscosidade da pasta.

2.1.2 Determinação Do Traço

Para TUTIKIAN, B. F. e PACHECO a determinação do traço para o concreto auto adensável difere muito daqueles utilizados para concretos convencionais, no que diz respeito à seleção e caracterização dos materiais, pois, o auto adensável apresenta uma grande quantidade de finos e presença de adições minerais e químicas, assim como pelos benefícios alcançados nas suas propriedades frescas. Atualmente, já existem métodos conhecidos, desenvolvidos por alguns pesquisadores da literatura, tais como: Método de Okamura, Método de Gomes e Método EFNARC.

2.1.3 Propriedades Do Concreto Autoadensável

2.1.3.1 Estado Fresco

As principais propriedades do concreto auto adensável no estado fresco são: a capacidade de preencher o interior das fôrmas, a habilidade de passagem entre os obstáculos, sem sofrer nenhum tipo de bloqueio provocado pelo agregado graúdo, bem como a sua resistência à segregação e/ou exsudação. Tais características diferenciam o concreto auto adensável de um concreto fluido, que se caracterizam apenas pela sua grande fluidez. A capacidade do concreto auto adensável em preencher fôrmas ou fluir entre os obstáculos é comandada pela alta fluidez e alta coesão da mistura. Já a capacidade de fluir bem entre os

obstáculos é comandada pela moderada viscosidade da pasta e da argamassa, e pelas propriedades dos agregados, principalmente, o diâmetro máximo dos agregados. A fim de manter a estabilidade ou resistência à segregação da mistura de CAA, alguns cuidados devem ser tomados no sentido de se manter a consolidação e a uniformidade da mistura. Portanto, os principais mecanismos que comandam essas propriedades são a viscosidade e a coesão da mistura.

2.1.3.2 Estado Endurecido

Os benefícios do concreto auto adensável devem ser atribuídos principalmente às suas propriedades no estado fresco, mas também as propriedades do concreto no estado endurecido devem ser analisadas de forma criteriosa. Somente desta forma o concreto auto adensável pode ser utilizado de forma segura nos elementos estruturais. Independente do fato de que o concreto auto adensável contenha os mesmos componentes dos concretos convencionais, além de aditivos minerais e químicos, existem diferenças notáveis no comportamento desses concretos, principalmente nas propriedades do estado fresco. Porém, é necessário verificar os efeitos que essas modificações provocam nas propriedades do concreto no estado endurecido. Um aspecto que justifica a importância do estudo das propriedades do concreto auto adensável no estado endurecido está associado à composição da mistura do concreto auto adensável, que é bastante diferenciada dos concretos convencionais (CALVALCANTI 2008, *apud* KLUG 2003).

2.1.4 Métodos de Cura

A cura é definida por Mehta (1994), como o procedimento destinado a promover a hidratação do cimento, consistindo do controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas fôrmas. Este processo tem como objetivo evitar a perda de água de amassamento de qualquer produto à base de cimento. Os elementos que provocam a evaporação são a temperatura ambiente, o vento e a umidade relativa do ar. Consequentemente, a influência é maior quando existe uma combinação crítica destes fatores (BATTAGIN *et al*, 2010).

A perda de água é evitada através da saturação do ambiente, eliminando-se a migração de água do concreto para o meio. Uma vez perdida parte desta água, já há comprometimento

da qualidade do produto. A cura influencia no ganho de resistência, diminuição da porosidade, absorção de água, fissuração e eflorescência. Para a eficiência do sistema é necessário que haja homogeneidade da condição de cura para todos os blocos e que esta seja iniciada logo após a desforma das peças (BATTAGIN *et al*, 2010).

2.1.4.1 Cura Úmida Propriedades

Este tipo de cura consiste em encharcar o concreto com água. Isto pode ser conseguido por espalhamento contínuo ou inundação (formando uma lâmina de água sobre o concreto) ou cobrindo o concreto com areia, terra, serragem ou palhas molhadas. Deve-se tomar cuidado, pois podem resultar algumas manchas na superfície. Para proteção do concreto também podem ser usadas juta, esteiras de algodão espessas ou dobradas, molhadas periodicamente bem como materiais absorventes em contato com água. Em superfícies inclinadas pode ser feita molhagem com mangueiras. Os suprimentos contínuos de água são mais eficientes do que os intermitentes, isto porque molhagens intermitentes em superfícies expostas a altas temperaturas podem sofrer choques térmicos indesejáveis (AGOSTINI; NUNES, 1996).

Quando se utiliza a aspersão, deve-se ter a precaução para que não ocorra uma secagem muito profunda, a fim de evitar fadiga superficial devida às dilatações e contrações frequentes, em idades em que o concreto ainda não desenvolveu por completo a sua resistência mecânica (AGOSTINI; NUNES, 1996).

A cura por imersão em concretos de alto desempenho parece ter sua eficiência reduzida devido à formação de uma zona superficial de baixa permeabilidade que dificulta o acesso de água às regiões mais internas, onde a cura com membranas plásticas ou cobertores impermeáveis parece ter uma eficiência equivalente ou até melhor do que a cura por imersão em água (AGOSTINI; NUNES, 1996).

Quanto à água para a cura, de preferência, deveria ser a mesma usada para amassamento. Uso de água do mar pode causar corrosão da armadura. A presença de ferro ou matéria orgânica pode resultar manchamento, em particular se a água flui lentamente sobre o concreto e evapora rapidamente. É de fundamental importância que a água seja isenta de substâncias que possam atacar o concreto endurecido. Também é muito importante observar a temperatura da água. Esta não deve estar muito abaixo da temperatura do concreto para evitar choque térmico ou gradientes acentuados de temperatura (NEVILLE, 1997); o ACI 308 (1992) recomenda que a diferença não ultrapasse 11°C.

A água adicionada para amassamento e cura das argamassas e concretos deve cumprir com os requisitos físicos e químicos definidos pela norma NM 137 (ABNT, 1997).

2.1.4.2 Cura Ao Ar Propriedades

O objetivo da cura ao ar (ou temperatura ambiente) é manter o concreto saturado ou o mais próximo disso possível até que os espaços na pasta de cimento fresca inicialmente preenchidos com água, sejam ocupados até um nível desejado, pelos produtos de hidratação do cimento. No caso de concretos aplicados em canteiros sem um controle específico de variáveis como temperatura e humidade, a cura quase sempre cessa bem antes de atingir a máxima hidratação possível. A influência da cura úmida na resistência pode ser facilmente verificada, pois as resistências a tração e a compressão são afetadas de maneira similar. A deficiência no ganho de resistência em consequência da cura inadequada, ou seja, devido à perda de água por evaporação, é mais prenunciada em elementos esbeltos e misturas ricas, mas menor em concretos com agregados leves (NEVILLE, 1997).

2.1.4.3 Cura Química Propriedades

Consiste na aplicação de um produto químico que, ao secar, forma uma membrana impedindo a saída de água pela superfície do concreto, evitando-se a evaporação desta.

As técnicas mais usadas para este método são cobrir a superfície do concreto com mantas de polietileno ou papel reforçado. Outra técnica usa compostos de cura aplicados por pulverização que formam uma membrana. Os mais comuns são soluções de resinas de hidrocarbonetos sintéticas em solventes muito voláteis. Outras resinas disponíveis são os butadienos de acrílico, vinila e borrachas cloradas. Também podem ser usadas emulsões de cera ou parafina, mas elas resultam em superfícies escorregadias difíceis de serem removidas, ao passo que resinas de hidrocarbonetos têm pouca aderência ao concreto e se degradam pela ação dos raios ultravioletas; estas duas características são desejáveis (NEVILLE, 1997).

O produto de cura química deve ser aplicado depois de cessada a ascensão de água à superfície do concreto (exsudação), mas antes que a superfície seque, valendo ressaltar que concretos que possuem sílica ativa, não apresentam exsudação e por isso a membrana de cura deverá ser aplicada rapidamente, pois se o composto de cura for aplicado sobre uma superfície

já seca, o produto penetrará no concreto impedindo a hidratação na região externa (NEVILLE, 1997).

As membranas de cura mantêm a impermeabilidade superficial do concreto por um certo período de tempo, em geral 3 a 4 semanas, evitando, assim, a rápida secagem do concreto, através de um filme impermeável que dura aproximadamente esse tempo (BAUER, 1987).

Dentre as curas por pulverização, as emulsões à base de cera ou parafina são as mais baratas, mas há a ressalva que estes produtos devem ser aplicados apenas em superfícies onde o concreto será aparente, pois estes produtos reduzem a aderência de revestimentos (NEVILLE, 1997).

As substâncias que permitem obter membranas de cura são aquosas ou soluções de produtos resinosos ou parafínicos, que se rompem quando entram em contato com o meio alcalino. Essas substâncias, ao se romperem, depositam uma delgada película de resina ou parafina nas estruturas onde são aplicadas. Essa película formada não deve ser incolor, para que se possa determinar, à vista, os locais em que está aplicada. Usualmente, a cor da película é clara, para não absorver a radiação solar, impedindo assim, a elevação da temperatura do concreto, que aceleraria a saída da água (BAUER, 1987).

A membrana à base de borracha clorada adere melhor ao substrato, apresentando assim uma melhor eficiência na retenção de umidade. A membrana é aplicada sobre o concreto fresco uma vez finalizado o processo de concretagem e imediatamente após o desaparecimento da água de exsudação. Pré-moldados são tratados imediatamente após a desforma. A aplicação deve ser feita de preferência com utilização de pulverizador para obter uma camada uniforme. É possível a utilização de brochas e rolos, porém estes podem aumentar o consumo, danificar a superfície e ocasionar bolhas. O rendimento depende da textura e porosidade da superfície, as dosagens normais são em torno de 200g/m², aplicado com pulverizador. O tempo de secagem é de aproximadamente uma a três horas na temperatura de 21°C (MBT, 2003).

Dado que, em concreto convencional, a quantidade de água de amassamento usada na mistura do concreto é normalmente maior do que a necessária para a hidratação do cimento (estimada em 30% em massa do cimento), a aplicação de uma membrana impermeável logo após o lançamento do concreto proporciona um meio aceitável de manter o processo de hidratação do cimento e de garantir uma velocidade satisfatória de desenvolvimento da resistência do concreto (METHA; MONTEIRO, 1994). Já este método se torna questionável quando se trata de CAD, uma vez que este não possui água suficiente para todas as partículas de cimento serem completamente hidratadas com a quantidade de água inicial da mistura, sendo necessário então o fornecimento de água para evitar a retração autógena (AÏTCIN, 2000).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Escolha Dos Materiais

A escolha do material se deu seguindo parâmetros pré-estabelecidos pela NBR 15823 (2010) que trata especificamente de CAA, a fim de que tenham condições de compor o melhor CAA.

3.1.1.1 Cimento

Foi utilizado cimento Portland CP V-ARI por ser de uso corrente no mercado regional por indústrias de pré-moldados, sendo assim, o mais acessível para o desenvolvimento da pesquisa.

Na Tabela 1, encontra-se a caracterização química, física e mecânica do cimento utilizado, obtidas juntamente ao fabricante e juntamente com os valores apresentados na NBR 5733 (1991).

Tabela 1 - Caracterização química e física do cimento

Propriedades determinadas		Valores	Limites (NBR 5733/91)
Análise Física			
Massa específica (g/cm ³)		3,04	-
Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	-	-
	Resíduo na peneira 325 (%)	-	-
	Área específica (cm ² /g)	4410	3000
Tempo de pega (h:min)	Início	02:45	1
	Fim	-	10
Água de consistência – Pasta (%)		-	-
Expansão em autoclave (%)		-	-
Resistência à Compressão (MPa)	3 Dias	23,3	24
	7 Dias	38,6	34
	28 Dias	44	-
Análise Química			
Perda ao fogo		2,46	4,5
Resíduo insolúvel		0,56	1
Trióxido de enxofre (SO ₃)		3,11	4,5
Óxido de magnésio (MgO)		1,38	6,5
Dióxido de silício (SiO ₂)		19,67	-
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)		2,62	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)		5,01	-
Óxido de cálcio (CaO)		64,02	-
Óxido de cálcio livre (CaO)		1,48	-
Álcalis Totais	Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,03	-
	Óxido de potássio (K ₂ O)	0,84	-
	Equivalente alcalino	-	-
Sulfato de cálcio (CaSO ₄)		-	-

Fonte: Autor (2016)

Notou-se que o cimento utilizado para o experimento atende aos requisitos da NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial (ABNT, 1991).

3.1.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural proveniente da região oeste do Paraná, mais precisamente de Guairá-PR, largamente empregado nas obras e indústrias de pré-moldados na referida região do estado.

Na Tabela 2 apresenta a caracterização do agregado miúdo.

Tabela 2 - Caracterização física do agregado miúdo

Ensaio realizado	Método	Resultado
Módulo de finura (MF)	NBR 7217/87	2,0
Diâmetro máximo característico (DMC)	NBR 7217/87	2,36
Massa específica (kg/dm ³)	NBR NM 52/09	2,64
Massa unitária (kg/dm ³)	NBR 7251/82	1,42
Absorção (%)	NBR NM 30/98	0,7
Teor de materiais pulverulentos (%)	NBR 7219/87	1,32

Fonte: Autor (2016)

Analizando a Tabela 2, notou-se que a areia selecionada apresenta módulo muito abaixo (2,36) do indicado como mínimo por Aïtcin (2000) e Metha; Aïtcin (1990) (2,50). Por se tratar de uma areia amplamente utilizada na construção civil da região, optou-se pela utilização da mesma. O ensaio de ensaio da composição granulométrica foi realizado no laboratório de construção civil da instituição de ensino.

A Tabela 3 mostra a composição granulométrica da areia.

Tabela 3 - Composição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211/1983)

Φ Peneiras (mm)	Massa Retirada (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Que passa em cada peneira
2,36	29,7	1,5%	1,5%	98,5%
1,18	82,4	4,2%	5,7%	94,3%
0,6	334,1	17,1%	22,9%	77,1%
0,3	957,4	49,1%	71,9%	28,1%
0,15	517,1	26,5%	98,4%	1,6%
FUNDO (g)	30,7	1,6%	100,0%	0,0%
Σ (g)	1951,4	100,0%		

Fonte: Autor (2016)

3.1.1.3 Agregado Graúdo

De acordo com a revisão bibliográfica, a dimensão máxima característica (DMC) apropriada do agregado graúdo para o concreto auto adensável é entre 12,5 e 19 mm, porém, optou-se pela utilização de britas de DMC inferiores (brita 0), visando uma melhor trabalhabilidade do concreto usando pedrisco (brita 0).

A Tabela 4 apresenta a caracterização física do agregado graúdo.

Tabela 4 – Caracterização física do agregado graúdo pedrisco – Brita 0

Ensaio realizado	Método	Resultado
Módulo de finura (MF)	NBR 7217/87	2,46
Diâmetro máximo característico (DMC)	NBR 7217/87	12,7
Massa específica (kg/dm ³)	NBR NM 53/09	2,5
Absorção (%)	NBR NM 30/98	0,85
Teor de materiais pulverulentos (%)	NBR 7219/87	1,47

Fonte: Autor (2016)

A Tabela 5 apresenta a composição granulométrica do agregado graúdo utilizado.

Tabela 5 - Composição granulométrica do agregado graúdo pedrisco – Brita 0 (NBR 7217/87)

Φ Peneiras (mm)	Massa Retirada (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Que passa em cada peneira
12,7	0	0,0%	0,0%	100,0%
9,5	236,2	11,9%	11,9%	88,1%
6,3	992,6	50,2%	62,1%	37,9%
4,75	220,2	11,1%	73,3%	26,7%
2,36	516,9	26,1%	99,4%	0,6%
FUNDO (g)	11,3	0,6%	100,0%	0,0%
Σ (g)	1977,2	100,0%		

Fonte: Autor (2016)

3.1.1.4 Sílica Ativada (Adição mineral)

Como adição mineral, foi utilizada a sílica ativa. Esta foi selecionada, por ser uma adição mineral capaz de promover uma melhoria das condições reológicas do concreto, bem como uma melhora na durabilidade e em suas propriedades químicas e mecânicas, o que favorece a produção de um concreto de alto desempenho, que é o caso do concreto auto adensável.

Nas Tabela 6 encontra-se a caracterização da sílica ativa utilizada.

Tabela 6 - Caracterização da sílica ativa

Propriedades determinadas	Valores	Limites (NBR 13956/97)
Análise Física		
Massa específica (g/cm ³)	2,2	-
Perda ao fogo	1,6%	<=6,5
Óxido de magnésio (MgO)	0,4%	<=4
Dióxido de silício (SiO ₂)	96%	<=6,5
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,2%	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	0,3%	-
Óxido de cálcio (CaO)	0,5%	-
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,2%	-
Álcalis Totais	Óxido de potássio (K ₂ O)	0,8%
	Equivalente alcalino	0,7%
Sulfato de cálcio (CaSO ₄)	0,48%	-
Teor de Umidade	0,3%	-

Fonte: Autor (2016)

Pode-se notar que a sílica ativa adotada para os testes atende aos requisitos da NBR 13956 – Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland – Especificação (ABNT, 1997).

3.1.1.5 Aditivo

Para a produção do concreto auto adensável foi utilizado um aditivo de última geração. Na Tabela 7 se encontram as características deste aditivo.

Tabela 7 - Caracterização do aditivo

Propriedades	Valores
pH	5 a 7
Viscosidade (cps)	95 a 160
Densidade (g/cm ³)	1,09
Sólidos (%)	39,11

Fonte: Autor (2016)

3.1.2 Traço

Não foi realizada uma dosagem específica do traço, usou-se um traço pré-determinado e o mesmo foi ajustado para os materiais a serem utilizados. O traço ajustado foi 1: 0,15: 2,10: 1,70: 0,40: 1,25% (cimento: sílica ativada: areia: brita 0: água: aditivo superplastificante).

A dosagem de todos os componentes do concreto se tornou muito simples, haja vista, que já se tinha o traço a ser seguido e também a caracterização dos componentes foram executadas para facilitar a dosagem do traço. Os percentuais de areia e brita, foram estabelecidas previamente pelo traço. O teor de sólido do superplastificante e as massas específicas, de todos os componentes, são conhecidos.

A partir de um volume de concreto de $0,02355\text{m}^3$ para a execução de 15 corpos de prova, obteve-se as massas dos componentes que foram essas:

- Cimento: 10,4 kg;
- Silica ativada: 1,557 kg
- Areia média: 21,8 kg;
- Brita 0: 17,65 Kg;
- Água: 4,15 L;
- Aditivo: $0,13\text{ Kg/m}^3$

O concreto dessa pesquisa foi executado em um misturador convencional (betoneira) com uma capacidade de 400 litros. As misturas seguiram a seguinte sequência de execução: primeiramente, toda a brita 0 juntamente com 50% da água e foram misturados por 30 s, em seguida, adicionou-se toda a quantia de cimento quantificada e misturou-se novamente por 30 s, passado o tempo, adicionou-se todo o volume de sílica ativada (*filler*) e misturados por mais 30 s.; em quarto lugar a areia e misturou-se por mais 30 s e, por último foram adicionados o superplastificante e a água restante, misturando-os durante 5 minutos. O tempo total de mistura é de 7 minutos que são necessários para assegurar uma mistura homogênea.

Um dos parâmetros mais importantes para a escolha do traço de um concreto é o consumo de aglomerantes que, nesta pesquisa, é constituído de cimento e sílica. De acordo com a Tabela 8, o consumo de cimento ficou em 400 kg/m^3 , e o consumo de aglomerantes em 347 kg/m^3 maximizando o consumo para m^3 de concreto.

Tabela 8 - Composição do concreto testado

Resistência estimada (MPa)	Cimento (kg)	Sílica (kg)	Brita (kg)	Areia (kg)	Aditivo (kg)	Água (kg)	Relação a/agl	Relação a/c
40	10,4	1,557	17,65	21,8	0,13	4,15	0,347077	0,399038

Fonte: Autor (2016)

3.1.3 Coleta De Dados

3.1.3.1 Ensaios Quanto A Classificação Do CAA

Os ensaios realizados para se determinar a caracterização e classificação do CAA foram com base na NBR 15283 (2010). E foram os seguintes:

a) Slump flow test;

É composto por uma base, que deve ser um quadrado de 1000 X 1000 mm - que não absorva água e nem provoque atrito com o concreto - e por um tronco de cone com materiais de mesmas características da base. Sobre o centro da base, deve-se marcar um círculo de diâmetro de 200 mm para a colocação do cone, que deve ter 300 mm de altura, diâmetro interno menor 100 mm e diâmetro maior de 200 mm. Também são necessárias, para a execução do teste, uma espátula, uma concha côncava e uma trena para medir o espalhamento do concreto.

b) Slump flow T50 cm test;

É uma variação do *slump flow*, já que o procedimento e os equipamentos são os mesmos. As únicas alterações são a marcação de um círculo de 500 mm de diâmetro centrado na base, a necessidade de um cronômetro para a realização do teste e a presença de, pelo menos, duas pessoas. O teste é realizado simultaneamente com o *slump flow test*. Assim que o cone for erguido verticalmente, o segundo operador deve acionar o cronômetro e marcar o tempo em que o concreto alcança a marca dos 500 mm.

c) L-box test;

O ensaio do *l-box* mede a fluidez do concreto simultaneamente à sua capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso. O equipamento consiste em urna caixa em forma de L com uma porta móvel separando a parte vertical da horizontal e, junto com a divisória, barras de aço que simulam a armadura real da estrutura, criando um obstáculo à passagem do concreto. É importante salientar que o espaçamento e a bitola das barras de aço dependem, basicamente, das condições reais da estrutura em que o concreto será aplicado.

Para a execução desse ensaio são necessárias, além da caixa em L feita com material não-absorvente e sem atrito, uma espátula, uma pá côncava, uma trena e, se desejado, um cronômetro para a medição do tempo em que o concreto chega aos 20 cm e aos 40 cm, que devem ser marcados no aparelho. A cronometragem dos tempos não é obrigatória e nem sempre recomendada, pois são períodos pequenos e de difícil marcação (a não ser que se utilize uma pessoa para marcar cada um dos tempos, o que dificulta o ensaio). Devido às dimensões e características, é recomendado seu uso apenas em laboratório, sendo difícil a utilização em campo. Deve-se fixar o *l-box* em solo firme e nivelado, umedecer as paredes do equipamento e testar o portão móvel para ter certeza de que se erguerá mesmo com a pressão do concreto. Preencher a parte vertical e deixar o material se acomodar por 1 minuto. Depois levantar o portão e cronometrar o tempo em que o concreto alcança a marca de 20 cm e 40 cm.

Medir as alturas iniciais (H1) e finais (H2), em que $H2/H1$ é o valor procurado e deve se situar entre 0,80 e 1,00 - valor adotado pela maioria dos pesquisadores. Quanto mais fluida estiver a mistura, mais rápido chegará às marcas de 20 cm e 40 cm e mais nivelada terminará. Também se deve observar a movimentação do concreto durante o ensaio, pois se estiver segregando ao passar nos obstáculos, o agregado graúdo irá demorar mais a fluir, enquanto a argamassa do concreto chegará primeiro ao final da caixa.

d) Funil V;

Esse método de ensaio foi desenvolvido na Universidade de Tokyo. Consiste em medir o tempo para um certo volume de concreto (aproximadamente 10 litros), fluir totalmente por um funil. Esse teste é capaz de fornecer boa indicação da viscosidade da mistura, pode também ser indicativo da segregação. Um baixo tempo de esvaziamento do funil é favorável com respeito à capacidade de fluxo e um alto tempo significa alta viscosidade, com tendência a sofrer bloqueio e segregação (Gomes, 2002). Neste trabalho, este teste foi utilizado para avaliar a propriedade do estado fresco de capacidade de preenchimento de formas do concreto.

O Funil V é composto de dois trechos de dimensões e formas diferentes; o trecho superior de seção transversal interna variável com altura de 45cm, apresenta uma seção superior interna de 51,5cm x 7,5cm e inferior de 6,5cm x 7,5cm; e o trecho inferior de seção transversal interna retangular constante, com altura de 15cm, prossegue até seu final com as dimensões de 6,5cm x 7,5cm. O orifício de descarga do funil deverá ser equipado com uma tampa a prova de passagem de água. Os aparatos utilizados neste ensaio são: Funil V; um recipiente de capacidade de 5 litros para derramar a amostra a ser colocada no funil; um recipiente tipo bandeja de capacidade de 12 litros para receber a amostra derramada de dentro do funil; um cronômetro de precisão de 0,1 segundo para medir o tempo de esvaziamento total do funil.

3.1.4 Ensaios De Resistência À Compressão Nas Idades Determinadas, Submetidos A Métodos De Cura Diferentes.

Nesta etapa do trabalho, foram moldados os corpos de prova para a ruptura à compressão nas idades requeridas, seguindo os parâmetros da NBR 5739 (2007). Os CP's foram moldados sem vibração ou compactação interna, e o CAA fluiu para o interior das fôrmas cilíndricas para CP's. Foram utilizados 3 CP's para cada idade de ensaio e para cada método de cura (úmida, ao ar, química), realizando cura até as idades escolhidas (3, 7 e 28 dias).

3.1.4.1 Moldagem Dos Corpos De Prova

Após os ensaios do concreto fresco, foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos nas dimensões 10x20 cm. Adotou-se o processo de adensamento mecânico, conforme NBR 5738 (2003), foi realizado em 3 camadas sem compactação. A Figura 1 mostra as formas após a moldagem.

Figura 1: Corpos de prova depois da moldagem



Fonte: Autor (2016)

3.1.4.2 Desforma Dos Corpos De Prova

Costuma-se adotar 24 horas após a moldagem para a desforma do concreto convencional. Como o concreto de auto adensável possui uma quantidade maior de cimento, teoricamente este tempo poderia ser reduzido e, a partir de então, os corpos de prova foram desformados 15 horas após a moldagem dos mesmos e em seguida já encaminhados para a cura.

3.1.5 Aplicação Da Cura E Armazenagem Dos Corpos De Prova

3.1.5.1 Cura Úmida

Os corpos de prova (Figura 2) curados em câmara úmida ficaram armazenados na mesma até a data dos ensaios (3, 7 e 28 dias). A câmara úmida possuía umidade superior a 90% e temperatura controlada entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, bem como especifica a NBR 5738 (2003).

Figura 2: Corpos de prova na câmara úmida



Fonte: Autor (2016)

3.1.6 Cura química (Água saturada de cal)

Esta cura (Figura 3) teve como objetivo evitar a saída dos íons de Cálcio para a água. A cal hidratada atua física e quimicamente no sistema. Fisicamente pela atuação do *filler* calcário e pela fração residual silicosa e, quimicamente, pela atuação do hidróxido de cálcio ao intervir na concentração dos íons no sistema.

A cal por ter solubilidade baixa em solução, as maiores partes das partículas de hidróxido de cálcio permanecerão insolúveis no sistema com potencial de atuar fisicamente na hidratação do cimento.

Os corpos de prova ficaram emergidos em água saturada de cal pelo prazo de rompimento citado na metodologia deste trabalho.

Figura 3: Cura química



Fonte: Autor (2016)

3.1.7 Cura Ambiente

Esta condição de cura buscou simular a condição de cura utilizada em obras e indústrias de pré-moldados, onde o concreto fica exposto a intempéries e sem métodos mais eficazes de cura.

O fator que mais atinge negativamente esse método de cura do concreto é a perda rápida de água de cura, o que causa uma deficiência em todo o processo de reação química do cimento, transformando assim, o concreto em um concreto fraco.

Os corpos de prova ficaram expostos ao ambiente pelo prazo de rompimento citado na metodologia deste trabalho.

3.2 ANÁLISE DE DADOS

Após os ensaios de compressão realizados os dados obtidos foram usados para a execução dos gráficos comparativos no software Microsoft Office Excel e eficiência dos métodos de cura testados mostrando assim qual obteve um índice de resistência maior.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a metodologia proposta, foram realizados os testes de caracterização dos materiais utilizados e dos finos feito a comparação com a norma regente dos mesmos, analisando assim se atendiam as especificações mínimas exigidas.

4.1.1 *Slump-Flow*

Após a mistura dos materiais na betoneira, foi realizado o ensaio de espalhamento. Entretanto, como a tensão de escoamento do concreto auto adensável é muito baixa, se mede o diâmetro (média de duas medidas ortogonais) do concreto espalhado, o *slump-flow* conforme a NBR 15823-2 (2010). Também difere em relação ao ensaio tradicional quanto à moldagem, que foi feita sem qualquer auxílio de compactação ou vibração.

O concreto atingiu um diâmetro médio de 590 mm e $t_{500} = 6s.$, atendendo a Gomes, (2002); que estabelece as faixas de: 60 cm a 75cm e 3s. a 7s., respectivamente, e também atende a NBR 15823-1 (2010) Tabela A.1, na qual estabelece classes de espalhamento do concreto auto adensavel em função de sua aplicação, e o referido concreto se estabelece na classe *SF 1*, onde o seu espalhamento em mm varia de 550 a 650.

Este ensaio foi de grande utilidade, pois se pôde avaliar a fluidez do concreto em condições não confinadas e se ocorreu sinais de segregação com a formação de uma pilha de agregado no centro, auréola de argamassa na borda do círculo ou exsudação de água, onde a ocorrência de algum desses sinais pudesse indicar que o proporcionamento do concreto não estava bom, porém essas ocorrências não foram notadas como mostra a Figura 4.

Figura 4: *Slump flow*



Fonte: Autor (2016)

4.1.2 Caixa L

No ensaio da Caixa L, Figura 5, o concreto auto adensável não apresentou bloqueio; uma boa distribuição do agregado graúdo e a linha quase nivelada do concreto na parte horizontal da caixa foram observados.

Os parâmetros atingidos foram: TL20 = 1,04s, TL40 = 1,98s e uma RB = 0,87.

Tendo atendido aos parâmetros estabelecidos pela literatura ($\sigma=2$, $\sigma=4$ e $\sigma=0,80$, respectivamente) haja visto que perante a NBR 15823-1 (2010) Tabela A.3 – Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação - o CAA testado ficou classificado como um PL 2 que é adequado para a maioria das aplicações correntes, elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.

Figura 5: Caixa-L



Fonte: Autor (2016)

4.1.3 Funil V

No ensaio do Funil V, Figura 6, o completo esvaziamento ocorreu num tempo de 6,01s, atendeu os intervalos recomendados pela NBR 15823-1 (2010) Tabela A.2 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação - Satisfazendo a propriedade do CAA no estado fresco, de alta fluidez sobre o efeito apenas da gravidade e sendo classificado como VF 2.

Figura 6: Funil-V.



Fonte: Autor (2016)

4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO DO CONCRETO

Antes da realização dos ensaios mecânicos, o topo dos corpos de prova destinados ao ensaio de resistência à compressão foi fresado (polidos), garantindo assim, que ambas as faces estejam paralelas entre si e perpendiculares ao eixo dos mesmos.

Os resultados de resistência à compressão simples aos 03, 07 e 28 dias, para os três corpos de prova ensaiados para cada idade e para cada tipo de cura podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência média à compressão aos 01, 03, 07 e 28 dias para os diferentes tipos e tempos de duração de cura

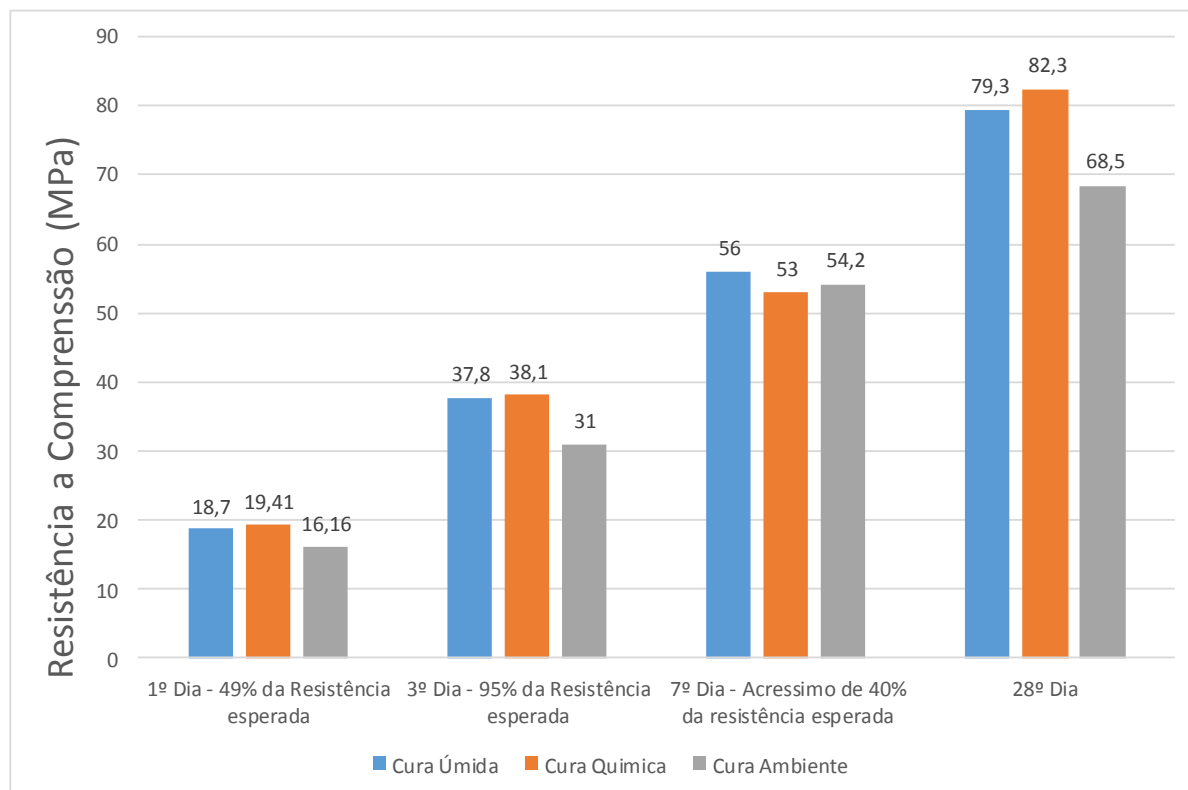
Resistência estimada aos 7 dias (MPa)		Resistência à compressão obtida para cada tipo de cura		
		Cura Úmida	Cura Química	Cura Ambiente
40	1	18,7	19,41	16,16
	3	37,8	38,1	31
	7	56	53	54,2
	28	79,3	82,3	68,5

Fonte: Autor (2016)

As análises sobre o efeito dos diferentes tipos e tempos de duração de cura na resistência à compressão tiveram como objetivo principal a verificação das resistências à compressão obtida a 01 dia (f_{c1}), 03 dias (f_{c3}) e 07 dias (f_{c7}), ou seja, idades utilizadas como referência para a maioria das estruturas de concreto e principalmente das indústrias de pré moldados. Neste sentido, o foco principal das discussões são os resultados nesta idade de ensaio. No caso da resistência a compressão obtida a 1 dia, a mesma foi estimada conforme o item 12.3.3 Resistência de cálculo do concreto da NBR 6118:2003.

De acordo com a Figura 7, para o concreto de resistência estimada 40 MPa, os tipos de cura que tiveram a maiores resistências à compressão aos 7 dias foram com cura úmida (56 MPa) e cura ambiente (54,2 MPa).

Figura 7: Evolução da resistência à compressão para os diferentes tipos de cura para resistência estimada 40 MPa.



Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar de maneira geral nos métodos de cura, à medida que aumenta o tempo de cura, até os 28 dias, tende a crescer a resistência, em um crescimento exponencial dos mesmos, deixando claro que o crescimento da resistência é em função da hidratação. Os corpos de prova que ficaram sujeitos a cura química até a data do ensaio (CQ28 = 82,3MPa) obtiveram resistência próxima aos que estavam expostos a cura em câmara úmida (CU28= 79,3MPa).

A resistência à compressão dos corpos de prova curados no ambiente (CA3 = 31 Mpa, CA7 = 54,2Mpa, CA28 = 68,5MPa) apresentaram resultados muito diferentes em relação à referência do teste que era de 40MPa em 7 dias. Este comportamento pode indicar a ação do *filer* utilizado da dosagem, nas primeiras idades do CAA, otimizando a resistência inicial.

Ressalta-se aqui que a cura em câmara úmida, apesar de apresentar bons resultados, apenas em algumas situações tem seu uso viabilizado, como por exemplo, no caso de indústria de pré-moldados, devido a agilidade de produção das peças.

É importante ressaltar também que a cura química apesar de ter apresentado bons resultados seu uso ainda é de difícil manejo em canteiros de obra e indústrias de pré moldados, pelo fato de que a peça tenha que ficar imersa em água saturada em cal. Para se obter bons

resultados como os obtidos neste trabalho, a utilização de resinas químicas de fácil aplicação poderia facilitar o uso em canteiros de obras e indústrias de pré moldados.

Para o concreto auto adensável, pode-se dizer, que em situações de cura em obra e indústrias de pré-moldados, a cura que apresentou melhor performance em relação à referência foi a cura úmida durante 3 e 7 dias.

Observa-se que para 7 dias de cura química os resultados de resistência à compressão foram inferiores as demais. Acredita-se isto à possível variação da amostra, a qual foi bastante reduzida, indicando que seja repetido o ensaio a fim de confirmá-lo.

CAPITULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos experimentos realizados, confirmou-se o que o objetivo deste trabalho buscava, apresentando resultados acima até do esperado.

A sílica ativada aliada com o cimento CP-V – ARI trouxe ao concreto altas resistências iniciais em todos os métodos de cura utilizados, uma vez que o traço seguido era de se esperar 40 MPa com 7 dias e aos 3 dias já quase se aproximou desse valor, exceto a cura ambiente, ficando a mesma em 31 MPa.

No que se refere a influência da cura nas propriedades mecânicas do CAA, principalmente na resistência à compressão, os resultados foram satisfatórios, pois suas propriedades agiram de maneira eficaz e otimizando as reações de cristalização, tornando o concreto mais resistente possível.

As curas úmidas e químicas foram as que promoveram maiores aumentos na resistência à compressão. Vale destacar que a maior resistência a compressão dos ensaios foram do concreto com 28 dias e curado quimicamente (82,3 MPa).

No caso do concreto autoadensável, nas primeiras idades, evidencia-se o fornecimento de água, pois também sem ele, a água disponível para a hidratação poderia ser insuficiente.

A cura úmida nas primeiras idades também auxilia a prevenir a retração autógena que é um fenômeno que ocorre nos concretos de alto desempenho devido a estes possuírem uma relação água/aglomerante muito baixa, o que diminui a reserva de água para as reações de hidratação do cimento.

De uma forma geral, pode-se dizer, com base nos resultados dos experimentos, que os concretos curados quimicamente por períodos entre 7 e 28 dias foram os que promoveram maiores acréscimos nas propriedades mecânicas (resistência à compressão). A partir de 28 dias de cura, como pôde ser observado nos resultados de resistência à compressão, o concreto auto adensável já atinge altas resistências o que pressupõe baixíssima permeabilidade. Neste caso, a partir daí, pouco influenciaria a cura úmida porque a água não mais conseguiria penetrar, como mostra o último ensaio de resistência à compressão.

CAPITULO 6

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Devido ao grande leque que os concretos de auto desempenho trazem, tanto em suas composições e métodos de cura, sugere-se que seja dada continuidade ao estudo da composição e curas do mesmo, realizando pesquisas como:

- Influência do tipo e tempo de duração da cura nas propriedades mecânicas de concretos autoadensáveis produzidos em climas de baixa temperatura e alta umidade relativa do ar;
- Influência da cura do concreto auto adensável em amostras de tamanho real;
- Influência da cura do concreto auto adensável contendo diferentes tipos de adições minerais em um mesmo traço;

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, L. R. S.; NUNES, N. L. **Método de cura para concreto de alta resistência.** *Revista Ibracon*, ago/set, p. 23-30, São Paulo, 1996.

AİTCIN, P-C. **Concreto de alto desempenho.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2000. 660 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1:** Classificação, controle e aceitação no estado fresco, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2:** Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3:** Determinação da habilidade passante - Método do anel J, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4:** Determinação da habilidade passante - Método da caixa L, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5:** Determinação da viscosidade - Método do funil V, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-6:** Determinação da resistência à segregação - Método da coluna de segregação, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956:** Sílica Ativa para uso em Cimento Portland, Concreto, Argamassa e Pastas de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2007.

BARDELLA, P. S.; BARBOSA, D. C.; CAMARINI, G. **Influência da cura térmica na estrutura porosa do concreto com sílica ativa.** In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 6, 2006, São Paulo: EPUSP, 2006. p. 1413-1424. Disponível em: <<http://engipapers.com.br/artigos/00302COAD2006.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

BARDELLA, P. S., BARBOSA, D. C., PEREIRA, V. M., CAMARINI, G. **Estrutura porosa de concretos produzidos com cimento Portland de alto-forno e sílica ativa para utilização em pré-moldados.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. *Anais...* São Paulo: Ibracon, 2007. p. 1-16;

BATTAGIN, A. F.; CURTI, R.; SILVA, C. O.; MUNHOZ, F. A. C. **Influência das condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho.** In: Instituto Brasileiro de Concreto – Congresso Brasileiro, 44, 2010. São Paulo.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros – 1987;

GOMES, P. C. C. **Optimization and Characterization of High-Strength SelfCompacting Concrete**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

KAEFER, **A evolução do concreto armado**, disponível em:
<http://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>;

MEHTA, P. K.; AİTCIN, J.-C. **Principles underlying production of high-performance concrete**. Cement & Concrete Aggregates, Philadelphia: American Society for Testing Materials, p. 70-78, winter 1990.

NEVILLE, A . M. **Propriedades do Concreto**. trad. Salvador E. Giammusso, São Paulo: Pini, 1997.

VERÇOSA, E. J. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: 2003TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena Dal. **Concreto autoadensável**. São Paulo, 2008.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M.. **Concreto autoadensável (CAA): comparativo entre métodos de dosagem**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo , v. 5, n. 4, p. 500-529, ago. 2012 . Disponível em
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952012000400006&lng=pt&nrm=iso>;

WATANABE, S. P. **Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações**, disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Conc%20Esp%20Paula.pdf>