

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LETÍCIA DOS SANTOS VAZZOLER

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM
CONCRETO AUTOADENSÁVEL

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LETÍCIA DOS SANTOS VAZZOLER

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM
CONCRETO AUTOADENSÁVEL**

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: Me. Engenheira Civil Andréa
Resende Souza**

CASCADEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

LETICIA DOS SANTOS VAZZOLER

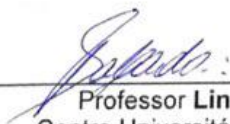
**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM
CONCRETO AUTOADENSÁVEL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professora **Andréa Resende Souza**.

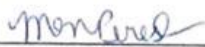
BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. **Me. Andrea Resende Souza**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor **Lincoln Salgado**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora **Me. Maria Vania Nogueira Do Nascimento Peres**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 08 de Dezembro de 2017.

DEDICATÓRIA

*Aos meus maravilhosos pais,
João Batista e Cláudia (in memoriam),
à minha segunda mãe Debora e avó Isabel,
pelas oportunidades, incentivo, amor e compreensão
ao longo da vida acadêmica.
Sem eles eu jamais conquistaria mais este desafio.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus pela vida maravilhosa, pela saúde e pelas oportunidades que me proporciona todos os dias, sem Ele ao meu lado nada disso seria possível.

À toda minha família, em especial meus pais e avós, pelo incentivo, imenso carinho, compreensão além do esforço que me permitiu que realizar esse sonho.

Agradeço à minha orientadora e grande Mestre, Andréa Resende Souza, pela competente e segura orientação, paciência e permanente disponibilidade durante este trabalho.

Ao Centro Universitário Assis Gurgacz, e à todos os Professores pelo excelente ensino que levarei para a vida.

À todos os meus amigos que de forma direta ou indiretamente me acompanharam durante os cinco anos de graduação, ajudando e apoiando.

A Future reciclagem inteligente, pela doação de materiais utilizados na pesquisa experimental.

E a todos, que me ajudaram de alguma forma durante todos esses anos.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” José de Alencar.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de estudar a possibilidade da reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) na mistura do concreto autoadensável, fazendo a substituição parcial do agregado graúdo convencional, oriundo da exploração de rochas, pelo RCD, como forma de minimizar os impactos ambientais causado pelas construções e tornar mais viável a utilização deste concreto. Foram realizados ensaios granulométrico do agregado, ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade do concreto. No estudo experimental foi produzido concreto autoadensável a partir de um traço modificado, utilizando cimento CP-V ARI, areia média natural e brita 1 de basalto e reciclada de material RCD, além de aditivo superplastificante e calcário. Constatou-se por meio desta pesquisa que o material RCD reciclado pode ser utilizado com sucesso na substituição do agregado natural no concreto, promovendo um desenvolvimento sustentável da construção civil. Os resultados obtidos sobre a resistência a compressão média foi de 27,67 MPa para o concreto sem substituição e 28,57 MPa para o concreto com reciclado, tendo sua resistência aumentada em 3,15%. Já o módulo de elasticidade do concreto reciclado foi reduzido em cerca de 10% quando comparado ao CAA normal.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Concreto autoadensável. Agregado reciclado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Slump flow test	24
Figura 2: Ensaio caixa L.....	25
Figura 3: Ensaio Funil-V	26
Figura 4: Ensaio Finil V.....	40
Figura 5: Ensaio de <i>Slump test</i> nos diferentes concretos	44
Figura 6: Comparativo entre a resistência média dos concretos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características agregado miúdo.....	33
Tabela 2: Caracterização física do agregado graúdo – Brita 1.....	35
Tabela 3: Propriedade do aditivo.....	36
Tabela 4: Quantidade de material.....	36
Tabela 5: Classes de espalhamento (<i>slump-flow</i>).....	39
Tabela 6: Classificação Funil V.....	40
Tabela 7: Resultados do Slump-flow test.....	43
Tabela 8: Resultados do Funil-V.....	45
Tabela 9: Resultados do módulo de elasticidade.....	46
Tabela 10: Resistência à compressão.	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	40
Equação 2.....	41

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA – Concreto Autoadensável

CCV – Concreto Convencional

CP – Corpo de Prova

GPa – Gigapascal

MPa – Megapascal

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	16
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
CAPÍTULO 2	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 Concreto autoadensável	18
2.1.1.1 Materiais	19
2.1.1.1.1 Cimento	19
2.1.1.1.2 Água	20
2.1.1.1.3 Agregados	20
2.1.1.1.4 Aditivos	21
2.1.1.1.5 Adições minerais quimicamente ativas	22
2.1.1.1.6 Adições minerais quimicamente inertes	23
2.1.2 Propriedades do concreto autoadensável no estado fresco	23
2.1.3 Propriedades do concreto autoadensável no estado endurecido	27
2.1.4 Resíduos da Construção	27
2.1.5 Agregados Reciclados	29
CAPÍTULO 3	32
3.1 METODOLOGIA	32
3.1.1 Tipo de estudo	32
3.1.2 Caracterização da amostra	32
3.1.2.1 Cimento	32
3.1.2.2 Agregado miúdo	33
3.1.2.3 Agregado graúdo	34
3.1.2.4 Água	35
3.1.2.5 Adição mineral de fíler calcário	36
3.1.2.6 Aditivos	36
3.1.2.7 Traço piloto do concreto	36
3.1.3 Procedimento de mistura	37
3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova	37
3.1.5 Coleta de dados	38
3.1.5.1 Ensaio de classificação do CAA no estado fresco	38
3.1.5.2 Slump flow test	38
3.1.5.2.1 Funil-V	39
3.1.5.3 Ensaio de classificação do CAA no estado endurecido	40
3.1.5.3.1 Compressão axial	40
3.1.5.3.2 Módulo de elasticidade	41
3.1.5.4 Análise dos dados	42
CAPÍTULO 4	43
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1.1 Propriedades no estado fresco	43

4.1.1.1 Slump-flow test	43
4.1.1.2 Funil-V	44
4.1.2 Ensaio de compressão do concreto	45
4.1.2.1 Ensaio de módulo de elasticidade do concreto	46
CAPÍTULO 5	48
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
CAPÍTULO 6	49
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	49
APÊNDICE	52

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O material base da construção civil, na maior parte do mundo, é o concreto, este que é obtido basicamente a partir de reações entre um cimento hidráulico, agregados e água. Foi necessário ao longo do tempo, desenvolver diferentes tipos de concreto para adaptar-se às diferentes necessidades da construção, sendo assim, foi desenvolvido o concreto autoadensável (CAA) (NEVILLE, 1997).

Criado no Japão na década de 80, o CAA expelle o ar aprisionado e penetra componentes de alta taxa de armadura preenchendo os espaços sem vibração, somente com adição de aditivos superplastificantes e finos, em sua dosagem, resultando em diminuição dos gastos e de impactos ambientais (NEVILLE, 1997).

Para que um concreto receba a nomenclatura de autoadensável é necessário que três propriedades fundamentais sejam alcançadas conjuntamente, sendo elas: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (EFNARC, 2002).

A base da cadeia produtiva da construção gera desperdícios e impactos no meio ambiente em todas as suas etapas, desde a extração das matérias primas, que são recursos minerais não renováveis, até o uso e demolição (CARNEIRO *et al*, 2001).

Sendo assim, na sociedade a quantidade de resíduos gerados é bem maior do que a porção de bens consumidos e a partir disso, o desenvolvimento sustentável, por meio da reciclagem de resíduos, proporciona uma redução significativa do consumo de matérias primas naturais não renováveis (ROCHA e JOHN, 2003). Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (Abrecon) o brasileiro produz, em média, meia tonelada ao ano de resíduos de construção civil e 70% desse total poderia ser reutilizado.

Por meio deste trabalho, pretende-se estudar o comportamento de resíduos da construção civil e demolição (RCD), reciclados e incorporados na produção do concreto autoadensável, observando seus possíveis ganhos e assim contribuir para a diminuição dos impactos da construção ao meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de viabilidade técnica do aproveitamento de RCD na produção do concreto autoadensável.

1.2.2 Objetivos específicos

Verificar as características mecânicas do CAA quando da utilização do RCD;

Analisar as características do CAA no estado fresco;

Analisar as características do CAA no estado endurecido.

1.3 JUSTIFICATIVA

Na construção civil ainda é pouco utilizado os resíduos de construção provenientes de demolições, reformas, e afins e o descarte indevido deste, causa sérios impactos no meio onde é depositado. De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (2011) há desperdício de cerca de 8 bilhões de reais ao ano por não haver reciclagem de seus produtos.

Pensando em minimizar os impactos ao meio ambiente, o desenvolvimento sustentável do concreto surge como uma forma de minimizar os desperdícios tanto residual como financeiro, em razão de que o processo de reciclagem pode baratear o custo de produção do mesmo (CARNEIRO *et al*, 2001).

Além deste estudo priorizando a utilização do agregado reciclado, como substituto do agregado graúdo, na produção do concreto autoadensável, vale ressaltar que, devido à grande quantidade de finos encontrado neste material após reciclagem, é interessante analisar a utilização parcial deste material como agregado miúdo, visto que naturalmente a produção do CAA necessita de maior quantidade de agregado miúdo quando comparado ao concreto convencional (CCV).

Para que não haja problemas da utilização do RCD no CAA, foi necessário fazer a triagem correta dos materiais, utilizando os materiais com maior resistência e menor porosidade como concretos e blocos de concreto, para substituir agregados naturais, visto que há normas

que regulam a utilização de agregados graúdos reciclados de RCD em concretos, impondo limites máximos de teores minerais que podem ser usados além do concreto, tais como: argamassa, cerâmica vermelha, entre outros, que estes influenciam diretamente a massa específica do concreto, que é responsável por controlar a resistência à compressão do mesmo (RILEM RECOMMENDATION, 1994; HENDRIKS, 2000; DIN, 2002; ABNT, 2004).

A proposta do trabalho foi mostrar a possibilidade da mistura de agregado reciclado na produção do CAA e ainda, apontar os ganhos obtidos com a substituição deste material pelo agregado convencional.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Existe manutenção das propriedades do concreto autoadensável quando da utilização do RCD?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Os agregados reciclados quando incorporados ao concreto autoadensável proporcionam qualidade, resistência e propriedades mecânicas exigidas pelas normas técnicas vigentes e melhora o fator custo-benefício de produção do mesmo.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa limitou-se a quantificação de quanto material reciclado poderia ser utilizado como agregado na nova composição do concreto e ao levantamento de dados referentes a qualidade do CAA com mistura de reciclados.

A dosagem do concreto produzido, deu-se a partir de um traço pré-determinado por Souza (2016), sendo de 1: 2,10: 1,70: 0,40: 1,25% (cimento: fíler calcário: areia: brita reciclada 1: água: aditivo superplastificante).

Normalmente o agregado graúdo utilizado na produção de concreto é o de origem natural, oriundos de jazidas, entretanto, nesse trabalho, utilizou-se da substituição desse material por agregado reciclado do tipo RCD proveniente da reciclagem de concretos, blocos de concretos e cerâmicas da construção civil, no teor de 50%.

A tipologia do material RCD utilizado como agregado é isento de impurezas nocivas, sendo proveniente da reciclagem de materiais da construção civil, como demolição.

A comparação dos concretos realizou-se através da verificação dos ensaios de *slump flow* e funil-V. Os ensaios foram realizados nos laboratórios do Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado na cidade de Cascavel - PR.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Concreto autoadensável

O CAA é uma mistura que expelle o ar aprisionado e flui por obstáculos sem vibração. Para sua dosagem é utilizado mais finos, menores que 600 μm , viscosidade é obtida a partir de um modificador e controlador, uma relação do fator água/cimento de 0,4, uso de superplastificantes e o agregado graúdo, que é utilizado em menor quantidade. Essas características promovem uma estrutura mais uniforme e menos porosa (NEVILLE, 2013).

Para obter o comportamento necessário do CAA, é necessário que a mistura apresente alta fluidez, viscosidade suficiente, junto com uma boa coesão, dentre os componentes para que se garanta um fluxo contínuo e uniforme de toda a mistura, ocupando toda a fôrma sem que ocorra segregação e sem promover o bloqueio entre as armaduras ou em pontos por onde for transpor obstáculos. São características que definem as fundamentais propriedades de auto adensabilidade do CAA: habilidade de preenchimento, agilidade de transpor obstáculos, e resistência à segregação; tendo em vista que esses parâmetros acima citados são diferentes quando tratando da caracterização convencional do concreto fresco (GOMES e BARROS, 2009).

A fluidez é a capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma a qual for destinado e ocupar todos os espaços destinado à ele. A habilidade passante pode ser definida como a propriedade que identifica a capacidade da mistura de escoar pela fôrma e transpor todos os obstáculos que nela encontrar sem ocorrer segregação, está que é a propriedade que caracteriza a capacidade do concreto autoadensável de se manter coeso ao fluir dentro da estrutura, transpondo ou não obstáculos (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A estabilidade ou a resistência à segregação se caracteriza como sendo a capacidade do concreto autoadensável de evadir a segregação dos seus elementos, como a segregação do agregado graúdo dos demais componentes do concreto. A estabilidade melhora a uniformidade da mistura principalmente durante o lançamento, transporte e no processo de cura. A viscosidade e a coesão da mistura são quem governam essa propriedade do CAA (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.1.1 Materiais

Um dos primeiros passos, em qualquer método de dosagem, é a triagem dos componentes da mistura. O CAA é um concreto que apresenta os mesmos componentes que um concreto convencional, apenas com algumas alterações nas características destes elementos, acrescido necessariamente de aditivo e em alguns casos com adições minerais. Em virtude da grande variedade destes últimos elementos dentro do mercado e por várias alternativas que podem ser utilizadas para obter a mistura do CAA, a etapa de seleção destes materiais torna-se mais trabalhosa (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.1.1.1. Cimento

Para a confecção do concreto autoadensável não existe critério que defina o melhor tipo de cimento a ser utilizado, sendo similar ao concreto estrutural convencional às prescrições referentes à durabilidade e usos adequados. Para ambos os concretos o melhor cimento é o que apresenta menor variabilidade de resistência à tração (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A preferência correta pelo tipo de cimento, depende unicamente dos requisitos específicos de cada aplicação (GOMES e BARROS, 2009).

A dosagem de cimento que é utilizada normalmente no CAA está em torno de 200 a 450 Kg/m³, dependendo dos acréscimos de adições reativas ou inertes que possam ser utilizados. Algumas precauções têm sido adotadas quando a dosagem 500 kg/m³, por efeitos dos possíveis problemas de retração. Para dosagens que apresentam menos de 300 kg/m³, é necessário assegurar a introdução de outro material cimentício, tais como cinza volante, escória, etc. (GOMES e BARROS, 2009).

Efetivamente, cimentos com teor de C₃A (o aluminato tricálcico) maior do que 10% pode ocasionar em perda rápida da fluidez, atrapalhando a aplicação do CAA em obras. Ao se tratar da finura e de elementos reológicos, quanto maior a superfície específica, maior será a porção dessas partículas em relação com a água, limitando a distância e ampliando a frequência de colisão entre elas, reduzindo assim a tensão de escoamento e elevando a viscosidade da mistura. Dessa maneira como a necessidade de finos para a produção do CAA é elevada, em virtude da precisão de aumentar a coesão da mistura, cimentos que apresentam maior superfície específica, são os mais apropriados mesmo aumentando os cuidados a serem tomados em relação ao calor hidratação e retração do concreto (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.1.1.2 Água

A qualidade da água adequada para uso em concreto convencional (CCV) na fase de amassamento é especificada como sendo água potável. Pode-se utilizar qualquer água com grau de acidez entre 6,0 e 8,0, sem sabor salino. Águas que contenham ácido húmico e/ou outros ácidos orgânicos bem como outras impurezas podem afetar negativamente a pega do cimento, resistência, endurecimento e manchamento do concreto, podendo levar ainda à corrosão das armaduras (NEVILLE, 2013).

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008) para a produção do CAA, os requisitos da água a ser utilizada são os mesmo para o CCV.

Para Gomes e Barros (2009), o uso da água no concreto pode ser relatado como uma relação de água/cimento (a/c), por peso ou volume, água/materiais cimentícios ou ainda água/materiais finos. E a quantidade a ser usada em uma mistura depende de vários fatores, como: tipo de cimento, características dos agregados, porção total de partículas finas na mistura e ainda da utilização de adições e/ou aditivos.

A quantia de água das misturas em geral é repartida basicamente em quatro diferentes partes, uma para hidratação do cimento; uma para a absorção, adsorção dos agregados e materiais mais finos; uma para o preenchimento da porosidade do esqueleto granular e a última parte destinada a garantir a fluidez do concreto (GOMES e BARROS, 2009).

Além do mais, pode variar em função do tipo de concreto, sendo que a relação a/c pode alterar consideravelmente, ou seja, para concretos de alto desempenho, usualmente a relação água/cimento está na faixa de 0,35 enquanto para concretos convencionais está na faixa de 0,50 (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.1.1.3 Agregados

Na literatura de Gomes e Barros (2009), encontra-se que o CAA deve possuir um baixo volume de agregado graúdo, variando de 28% e 35% do volume de concreto, e relação de peso agregado graúdo/concreto com mínimo de 32% e no máximo 40%, com proporções a cerca de 750 kg/m^3 a 920 kg/m^3 . Em relação ao agregado miúdo os autores descrevem um volume deste que varia de 40% a 50% do volume total da argamassa, tendo em vista proporções aproximadas de 710 a 900 kg/m^3 .

A quantidade de agregado miúdo a ser utilizado está condicionada à demanda de água, fator este que é fundamental por influenciar a coesão e fluidez do concreto. Para este tipo de

agregado quando utilizado para produzir o CAA, a melhor opção são partículas arredondadas e lisas pois aumentam a fluidez da mistura a partir da mesma quantidade de água. Pois quanto maior a angulosidade das partículas do agregado miúdo maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, dificultando a deformidade do concreto (OKAMURA e OUCHI, 2003 *apud* TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

De acordo com os autores Tutikian e Dal Molin (2008) “deve-se levar em conta ainda que o CAA necessita de adição de finos e, quanto menor o módulo de finura do agregado miúdo, mais adequado para a produção de concretos de elevada coesão”.

A granulometria do agregado miúdo não pode ter oscilações maiores a $\pm 0,20$ cm para assegurar as características das propriedades reológicas no decurso da fabricação do concreto (GOMES e MAESTRO, 2005 *apud* TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Quando na intenção de garantir a propriedade de passagem do concreto por obstáculos durante seu lançamento e diminuir a tendência a segregação são exigidas dimensões máximas mais criteriosa para o agregado graúdo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Gomes e Maestro (2005, *apud* Tutikian e Dal Molin, 2008) indicam que a dimensão característica do agregado graúdo seja inferior a $2/3$ em relação ao espaçamento, entre as barras e/ou os grupos de barras, e ainda menor do que $3/4$ do cobrimento mínimo adotado para os elementos de concreto em relação as armaduras, ou seja, na prática deve-se utilizar tamanhos máximos de 19 mm, em obra esse tamanho normalmente varia de 12,5 a 19 mm.

Outros fatores que devem ser cuidadosamente observados se tratando dos agregados, são: a umidade, a classificação, às variações na quantidade de finos dos agregados e a absorção de água. Levando-se em consideração a manutenção da qualidade do CAA. A configuração e a distribuição das dimensões das partículas do agregado são importantíssimos e afetam a compactação e o índice de vazios do concreto (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.1.1.4 Aditivos

O CAA utiliza de aditivos no momento de sua confecção, são dois os principais tipos de aditivos utilizados: os superplastificantes e os modificadores de viscosidade (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Temos os superplastificantes como uma classe especial de agentes que reduzem a água do concreto, estes são formulados de materiais que autorizam diminuição de água muito superiores ou a trabalhabilidade extrema do concreto quando a eles incorporados. De modo

geral são aplicados na fabricação de concreto de alto desempenho, principalmente quando é obrigatória alta fluidez junto a baixo fator água/cimento (GOMES e BARROS, 2009).

Utilizar os superplastificantes na produção do CAA é imprescindível tendo em vista que ele é o responsável por garantir uma das fundamentais propriedades do CAA, a fluidez. Sem o uso dos superplastificantes não há como fabricar o concreto autoadensável. Por motivos de inúmeros tipos desse produto no mercado voltados principalmente para a produção do CAA, dificultando assim a escolha de qual produto é melhor para utilização (GOMES e BARROS, 2009).

Gomes e Barros (2009), apontam que o mecanismo de atuação deste agente no concreto, permite aumentar a coesão da mistura, proporcionando melhor estabilização e mobilização do concreto. Ao adicionar o aditivo modificador de viscosidade a fase aquosa da pasta do cimento é afetada, por meio das cadeias poliméricas solúveis em água que podem absorver água livre no sistema, aumentando a viscosidade da pasta do cimento, proporcionando como resultado menos quantidade de água livre que estará sujeira a exsudação. Além de reforçar a viscosidade do concreto, pode ainda melhorar a tendência da pasta a suspender partículas sólidas, reduzindo assim a sedimentação do CAA (GOMES e BARROS, 2009).

Quando ambos os aditivos são incorporados ao CAA, permite-se obter misturas estáveis e de grande fluidez (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.1.1.5 Adições minerais quimicamente ativas

As adições minerais quimicamente ativas podem ser de material cimentante ou pozolânico. O material pozolânico é regulamentado pela NBR 12653 (1992), e esta define como sendo aquele material que reage quimicamente em contato com Ca(OH)_2 . Podemos citar cinza volante com baixo teor de cálcio, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim, como materiais pozolânicos (BARIVIERA, 2016).

As adições minerais quimicamente ativas quando incorporadas ao CAA são responsáveis por aumentar a coesão da massa e diminuir as chances de segregação do agregado gráudo. Essas adições devem ser escolhidas após devidamente analisado aspectos técnicos e econômicos. Além de aumentar a resistência à segregação do concreto, as adições minerais são responsáveis por aumentar a resistência e a durabilidade do CAA tanto química como fisicamente (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.1.1.6 Adições minerais quimicamente inertes

Adições quimicamente inertes são as quais não possuem atividades pozolânicas, a propriedade essencial destes é que possuam uniformidade e que sejam finos, atualmente os mais utilizados na produção do CAA são o calcário e a areia fina. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Sem atividade química o fíler é uma adição mineral que resume sua ação á efeitos físicos de empacotamento dos grãos e age como pontos de nucleação aferindo hidratação aos grãos de cimento. Ao incorporar esse material na pasta de CAA, deve ser realizado por substituição de agregado miúdo, visto que possui maior finura do que esse, e proporciona melhores condições de compacidade e mistura do concreto.

2.1.2 Propriedades do concreto autoadensável no estado fresco

As propriedades devem ser verificadas em qualidade ou quantidade através de ensaios que representem o comportamento do concreto durante sua aplicação. Estas propriedades podem ser verificadas a partir de ensaios como o *slump flow*, caixa-L e funil-V (GOMES e BARROS, 2009).

Em algumas literaturas pesquisadas, referenciadas e onde aqui serão citadas, descrevem os ensaios que permitem conhecer as principais propriedades do CAA.

O *slump flow* é o ensaio que verifica o espalhamento do CAA. Seguindo a norma da ABNT NBR 15823-2 (2010) – Concreto autoadensável parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone Abrams. Este método visa analisar a capacidade de preenchimento do CAA e está relacionado diretamente com a fluidez da mistura. Para realizar este ensaio é necessário ter uma base em formato quadrado e que possua dimensões de 1000 x 1000 mm. Sobre a base tem-se um tronco com a forma de cone com as mesmas características da base na parte superior da base, é necessário marcar um círculo com diâmetro de 200 mm para que seja possível a colocação do cone, que deve ter 300 mm de altura, com diâmetro interno menor ou igual a 100 mm e diâmetro maior de 200 mm (GOMES e BARROS, 2009).

Figura 1: Slump flow test



Fonte: Tutikian e Dal molin (2008).

Com o equipamento pronto, deve-se preencher todo o molde com o concreto, sem vibração, o molde deve estar fixado através de suas aletas, através dos pés do operador. Após o preenchimento deve-se retirar o complemento do cone e retirar todo o excesso de concreto, limpando também a base. Logo após, efetua-se a desmoldagem levantando o cone pelas alças, em direção vertical, com velocidade constante e uniforme, em um tempo inferior a 6s. O cronometro deve ser iniciado logo após o molde perder o contato com a placa base, registrando esse intervalo de tempo em segundos. E por final, quando o concreto estiver estabilizado, medir seu diâmetro com uma régua. (ABNT NBR 15823-2/2010)

Tutikian e Dal Molin (2008) referenciam ainda que se o espalhamento estiver muito baixo, isso indica que o concreto está pouco fluido. Sendo necessário assim fluidificar o material por meio de água ou aditivos superplastificantes. Se a medida estiver elevada, deve-se tornar o concreto mais coeso, pois por estar muito fluido, provavelmente, isso resultará em segregação da mistura.

A capacidade passante do CAA é analisada por um equipamento que consiste em uma caixa em formato em L, que possui uma porta móvel responsável por separar as direções verticais e horizontais, e junto, há uma divisória em barras de aço que reproduzem a armadura real da estrutura, formando assim um obstáculo à passagem do concreto. Vale ressaltar que, os espaçamentos e as bitolas da barra de aço dependem do estado real da armadura, na qual o concreto será inserido (GOMES e BARROS, 2009). Tal ensaio é regulamentado pela NBR 15823-4 (2010) – Concreto autoadensável parte 4: Determinação da habilidade passante – Metodo da caixa L.

Quando realizado em laboratório, a temperatura deve ser monitorada para que não ultrapasse $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$ e no mínimo 50% de umidade. Para iniciar o ensaio, as paredes internas do equipamento devem ser umedecidas com água ou desmoldante, e fechar a comporta quando a caixa L estiver plana e nivelada. A câmara vertical da caixa, deverá ser preenchida totalmente com a amostra de concreto, de forma constante e uniforme sem vibrações. A abertura da comporta deve ser realizada após 30 s a 60 s do final do preenchimento da câmara. Após abertura, deve ser cronometrado o tempo de escoamento da pasta. (ABNT NBR 15823-4/2010)

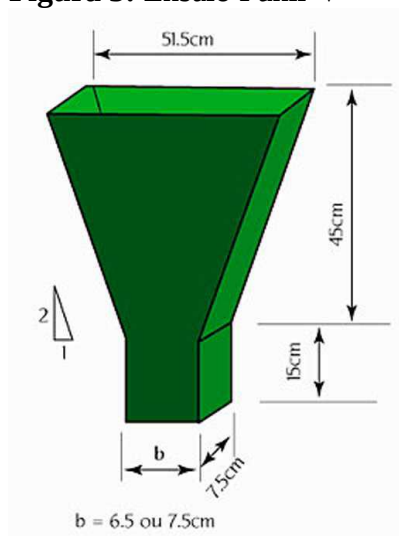
Figura 2: Ensaio caixa L



Fonte: BARIVIERA (2016).

O ensaio funil-V - NBR 15823-5 (2010) – Concreto autoadensável parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V, foi desenvolvido também no Japão, onde o equipamento é responsável por medir a fluidez do concreto, além de permitir uma boa indicação da viscosidade, esse método consiste em medir o tempo para um certo volume (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para a realização deste ensaio, o funil deve ser preenchido totalmente com a amostra de concreto coletado, de forma uniforme e sem interrupções, e logo após deve-se abrir a comporta existente no fundo do funil, para que o concreto escoe e caia sobre o recipiente metálico que se encontra abaixo do funil. O tempo de escoamento deve ser cronometrado assim que a comporta for aberta. (ABNT NBR 15823-5/2010)

Figura 3: Ensaio Funil-V

Fonte: Tutikian e Dal molin (2008).

A análise final e a escolha do tipo de ensaio devem depender das características da obra na qual o concreto será inserido, das condições locais de aplicação da mesma e do lançamento que será feito. Um mesmo ensaio pode apresentar parâmetros que servem para avaliar mais de uma propriedade (EFNARC, 2005).

As propriedades anteriormente citadas estão ligadas diretamente com a característica reológica do concreto, esta define o comportamento da fluidez, ou seja, sua deformabilidade. Estudos já realizados comprovam que a capacidade de autoadensabilidade do CAA é administrado pela simultaneidade da deformidade e resistência a segregação. Dependendo a deformabilidade, essencialmente, de uma tensão mínima, que é necessária para que o concreto flua, definindo uma tensão cortante limite, e uma viscosidade em estágio moderado, que assim impede o contato entre os agregados, evitando a obstrução, que é caracterizada pela viscosidade plástica (GOMES e BARROS, 2009).

A reologia caracteriza o fluxo, isto é, a deformação irreversível no tempo, de materiais, onde inclui-se os estudos da deformação de concreto em estado endurecido, como deformação de fluência, de mistura de concreto fresco, manuseio e lançamento e algum comportamento de pastas similares. O comportamento reológico do concreto é definido a partir de um diagrama determinado como curva de fluxo, esta descreve a relação existente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento de um fluido (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.3 Propriedades do concreto autoadensável no estado endurecido

Os materiais e relação água/cimento, entre os concretos CCV e CAA são similares, apresentando o CAA mesma resistência em classe de resistência quando comparado ao concreto convencional, assim como também a retração por secagem. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

O problema ocorre ao usar grandes quantidades de argamassa na produção do CAA, aumentando as retrações química e de secagem, sendo necessário elevar o consumo de cimento e de adições quimicamente ativas (MEHTA e MONTEIRO, 2006 *apud*. TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

É possível afirmar que o adensamento do CAA, é mais garantido, uma vez que após sua aplicação não se faz necessário vibração, reduzindo o potencial de erro humano. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Resumindo-se, deve-se considerar que o CAA é ao menos igual ao CCV em estado endurecido e que suas propriedades dependerão exclusivamente da maneira como for dosado, por isso deve-se cuidar com misturas de alto teor de argamassa ou aditivos superplastificantes. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.4 Resíduos da Construção

Os resíduos da construção civil (RCC) são oriundos de construções, reparos, reformas, e demolições das obras da construção civil, e ainda materiais resultantes de escavação e preparação do terreno, como: blocos cerâmicos, tijolos, rochas, resinas, metais, colas, tintas, concreto em geral, madeiras e compensados, argamassas, forro, gesso, vidros, plásticos, pavimento asfáltico, fiação elétrica, telhas, entre outros, que são nomeados por diversas vezes como entulho, calça ou metralha de obra. (SINDUSCON, 2004).

A aceleração da urbanização e estabilização da economia dos últimos anos, deram evidência ao grande volume de resíduos da construção e demolição que está sendo gerado nas cidades brasileiras, mostrando que os municípios não estão estruturados para o gerenciamento de um volume tão grande de resíduos e para os inúmeros problemas causados por ele (CARNEIRO *et al*, 2001).

As ações da construção civil alteram o meio ambiente e essas alterações ocorrem na fase de implantação, execução de serviços, confecção de artefatos, limpeza da obra e afins, sendo gerado resíduos em praticamente todas as etapas da construção como execução, manutenção, reforma, desocupação e demolição. A maioria dos resíduos da construção civil é proveniente de perdas de materiais na fase de execução de um serviço e das demolições. Este entulho resultante de demolições, apresentam grande potencial de reciclagem, com excelentes oportunidades de aproveitamento dentro da própria indústria da construção civil (BRUM *et al*, 2001).

As consequências resultantes do grande volume gerado pelo RCC são inúmeras nos grandes centros urbanos. Estando este, ligados ao fluxo irracional e desgovernado dos resíduos, sendo típico do processo que deu origem a Gestão Corretiva, esta pode ser descrita como sendo uma prática sem sustentabilidade onde a sua ineficiência faz com que haja necessidade de nova política específica para o domínio dos resíduos de construção e demolição, bem como pequenos ou grandes gestores e colaboradores como também as características dos agentes envolvidos nesse processo (PINTO, 1999).

Na falta das soluções voltadas para a captação do RCC gerados nas construções, Pinto (1999) salienta que seus gerados ou pequenos coletores que os acolhe, farão a deposição em áreas livres mais próximas, causando grande impacto visual e ambiental nos municípios onde assim são depositados os resíduos da construção.

Os processos que visam o gerenciamento dos resíduos em canteiro, de especialização no tratamento dos RCC e da sofisticação dos procedimentos de demolição, vão solidificando um ramo da engenharia civil muito respeitado, que atento às necessidades de usar estes recursos que são limitados, evitam que estes dejetos não sejam descartados na natureza, sobrecarregando assim o meio ambiente (PINTO, 1999).

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 307 (2002), no Art. 3º são descritos como deverão ser classificados os resíduos da construção civil:

- 1) Classe A: são caracterizados como os resíduos reutilizáveis ou com potencial de reciclagem como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

- 2) Classe B: são os resíduos recicláveis para demais destinações que não agregados, tais como: plásticos, metais, vidros, madeiras e afins.
- 3) Classe C: são de resíduos oriundos do gesso, pois para este ainda não foi desenvolvida tecnologia ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem.
- 4) Classe D: são os resíduos tóxicos do processo de construção, como: tintas, solventes, óleos e outros materiais que possam estar contaminados com radiação, por exemplo.

A disposição final e o desmembramento correto dos diferentes tipos de materiais dos resíduos das obras da construção civil, proporciona a sua valorização, por meio da reutilização, reciclagem e a redução de custos. A administração dos RCC pelos construtores expõe a sua responsabilidade ambiental, além da atuação correta que é economicamente vantajosa e permite um avanço claro dos esforços dos construtores para expressar qualidade aos seus serviços e produtos (SINDUSCON, 2004).

Assim sendo, Carneiro *et. al.*, (2001) garante que o entulho tem uma enorme vantagem pois apresenta elevado potencial de reciclagem para diferentes fins, principalmente podendo ser reutilizado como matéria prima na produção de materiais de construção. Independentemente do uso a que se destinará, a reciclagem desse material tem vantagens como:

- a) Redução dos impactos ambientais e sociais gerados com o descarte inadequados e de suas consequências negativas como alagamentos, proliferação dos vetores de doenças, deslizamentos de encostas, entre outras;
- b) Otimização do uso dos aterros;
- c) Transforma uma fonte de despesa em uma fonte de faturamento;
- d) Substituição em grande escala de agregados naturais utilizados na produção de concreto, argamassas, tijolos, blocos e pavimentos;

2.1.5 Agregados Reciclados

Os materiais nobres do concreto podem ser reciclados facilmente, como as próprias parcelas do concreto, argamassa, solo, areia, cerâmicas e rochas que são as maiores porcentagens de materiais encontrados na composição dos resíduos de entulhos de demolição (CARNEIRO *et al*, 2001).

O coeficiente de forma encontrado no agregado reciclado graúdo é muito semelhante ao de um agregado graúdo natural obtido em uma mineradora, e em geral este agregado

reciclado apresenta forma mais irregular e textura mais áspera e porosa na superfície (CARNEIRO *et al*, 2001).

A presença de resíduos perigosos, como produtos inflamáveis, ácidos, entre outros, é relativamente baixa na composição dos resíduos construtivos da engenharia civil, no entanto, não deve ser secundarizado, realizando a esta parcela os tratamentos e procedimentos adequados (PINTO, 1999).

O que pode prejudicar o desempenho dos materiais produzidos a partir de agregados reciclados é se este apresentar algumas substâncias consideradas impurezas ou contaminantes como a presença de argilas e solo em geral, betume e polímeros procedentes de selagens impermeabilizante das juntas, os fílers expansivos oriundos também das juntas, gesso, cloretos, cerâmicas refratárias, matéria orgânica, vidros, metais e partículas de concreto de cimento danificadas em incêndio (CARNEIRO *et al*, 2001).

Uma determinada substância pode ser considerada como contaminante para uma certa aplicação do agregado reciclado e como material inerte para outra, assim sendo, a aplicação do agregado reciclado está ligada diretamente à sua composição, havendo necessidade de caracteriza-lo, a fim de evitar a sua utilização em aplicações que possam comprometer o desempenho do novo material e prejudicar a aceitação do agregado reciclado em seu meio técnico (CARNEIRO *et al*, 2001).

De forma geral, os agregados reciclados oriundos de demolição (RCD) são mais porosos que os naturais o que conseqüentemente leva à uma absorção maior de água. Por outro lado, o RCD reciclado apresenta materiais com algumas propriedades relevantes para o desempenho do novo concreto, utilizando este tipo de agregado, pois entre esses materiais podem ser citados partículas de cimento não-inertizadas, que ainda produzirão reações, partículas de cal que também poderão formar novas reações, algumas partículas já cristalizadas que funcionarão acelerando a formação da nova rede cristalina e ainda as partículas de finos, provenientes dos materiais cerâmicos que devido à significativa quantidade de material pozolânica, irão reagir com a cal hidratada (CARNEIRO *et al*, 2001).

CARNEIRO *et al*, 2001 lista alguns benefícios como consequência da utilização de agregados reciclados como

- e) Redução dos custos na aquisição da matéria prima e preservação das reservas naturais, devido à substituição dos agregados naturais como areia e rocha britada.
- f) Gera alternativas para as mineradoras que estão que com mais frequência estão fadadas a restrições ambientais, tendo que se instalar em locais afastados dos centros urbanos.

g) A produção destes novos materiais, muitas vezes apresentam melhores características tecnológicas.

h) Com a produção de materiais com menor custo, há redução do preço final das habitações e das obras de infraestrutura

Quando reciclados os resíduos da construção civil, para a produção de agregados para o concreto, geralmente é realizada a britagem destes materiais, e para isso, os britadores de mandíbulas são os mais usados, porém quando associados a outro equipamento, responsável pela britagem secundária são bastante suscetíveis à presença de resíduos de madeira e metálicos, caso não disponham de dispositivo de alívio para a presença desses materiais, e conseguem promover uma redução de partículas muito superior ao britador de mandíbula. (ITEC, 1995, *apud* PINTO, 1999).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo

O proposto trabalho tem caráter qualitativo, com levantamento de informações a partir de ensaios laboratoriais, para determinar as características técnicas do concreto autoadensável, tanto no estado fresco quanto no seu estado endurecido, produzido a partir de material RCD.

No estado fresco, as propriedades de maior importância do CAA as quais foram verificadas foram: fluidez e resistência à segregação, já para o estado endurecido, as propriedades avaliadas foram as capacidades de resistência à tração e compressão e ainda módulo de elasticidade do concreto, afim de avaliar a qualidade do mesmo.

Fez-se necessário a utilização de literaturas e normativas regulamentadoras para que, durante o estudo e fabricação do concreto, suas propriedades e qualidade fossem asseguradas.

Essa pesquisa é de caráter sustentável, tendo em vista que, ao obter os dados levantados por meio dos ensaios, analisou, se o concreto encontrava-se dentro do padrão estabelecido através das normas para uso, e se assim estiver, ressalta-se uma forma eficaz do reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição, que são largamente depositados de forma irregular no meio ambiente.

Os procedimentos experimentais foram conduzidos nos Laboratórios de Construção Civil e Ensaios Mecânicos, da instituição de ensino Centro Universitário Assis Gurgacz localizado na cidade de Cascavel-Paraná.

3.1.2 Caracterização da amostra

O ponto de partida do estudo foi a análise dos materiais a serem utilizados na fabricação do concreto, a fim de caracterizá-los. A produção do concreto demandou a utilização de cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo e aditivos.

3.1.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o Portland CP V-ARI, que possui essa nomenclatura por ser o aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial - NBR 5733 (1991).

Esse tipo de cimento é o mais utilizado, por indústrias de pré-moldados na região oeste do Paraná, logo, é considerado o mais acessível para o desenvolvimento da pesquisa.

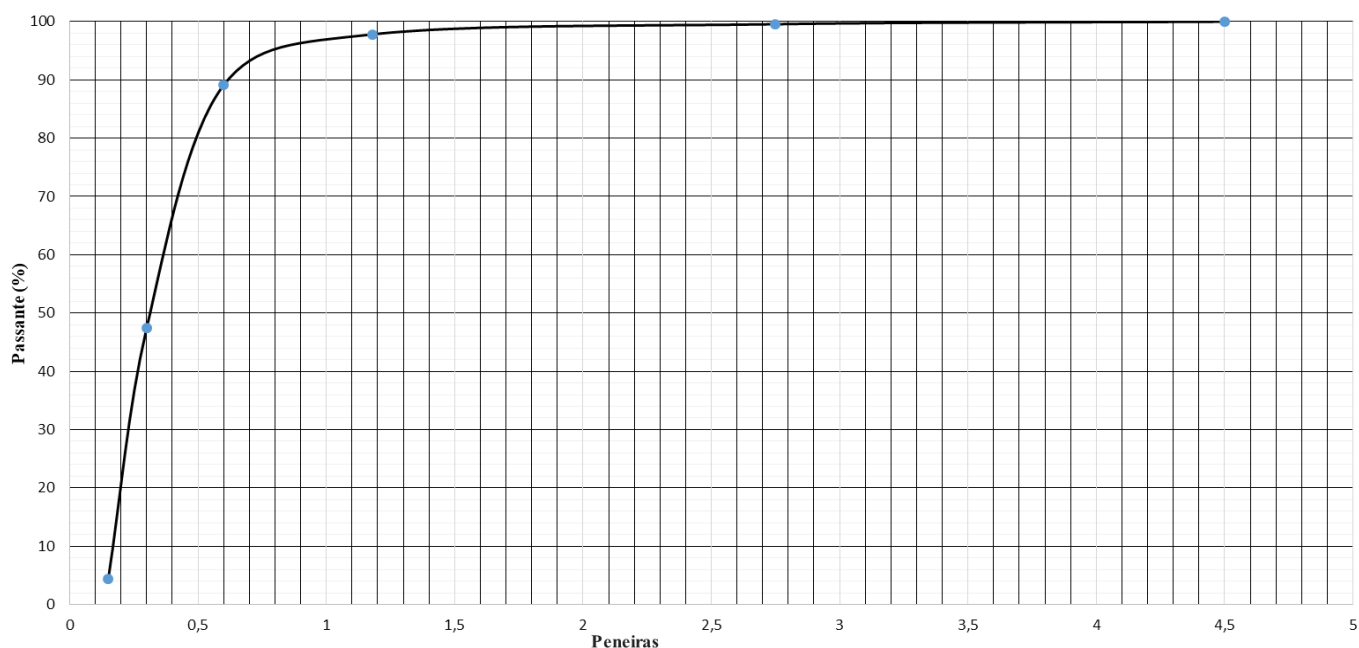
3.1.2.2 Agregado miúdo

A norma NBR 7211 (2009) especifica os requisitos mínimos exigíveis, desde a produção até o recebimento, dos agregados a serem utilizados na produção de concretos, além de especificar os ensaios a serem utilizados na caracterização desses tipos de agregados.

O agregado miúdo utilizado na fabricação do concreto foi a areia natural proveniente do rio Paraná na altura da cidade de Guairá, sendo a mais empregada nas obras da cidade de Cascavel-Pr. A granulometria do material seguiu parâmetros definidos pela NBR NM 52 (2003) - Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente.

Na tabela 1 e 2, estão apresentados os valores coletados através dos ensaios de granulometria.

Gráfico 1: Composição granulométrica agregado miúdo.



Fonte: Autora (2017).

Tabela 1: Características agregado miúdo.

Módulo finura (MF)	2,48
Dimensão máxima característica - Agregado natural (DMC) (mm)	2,75
Massa específica (g/cm ³)	2,64

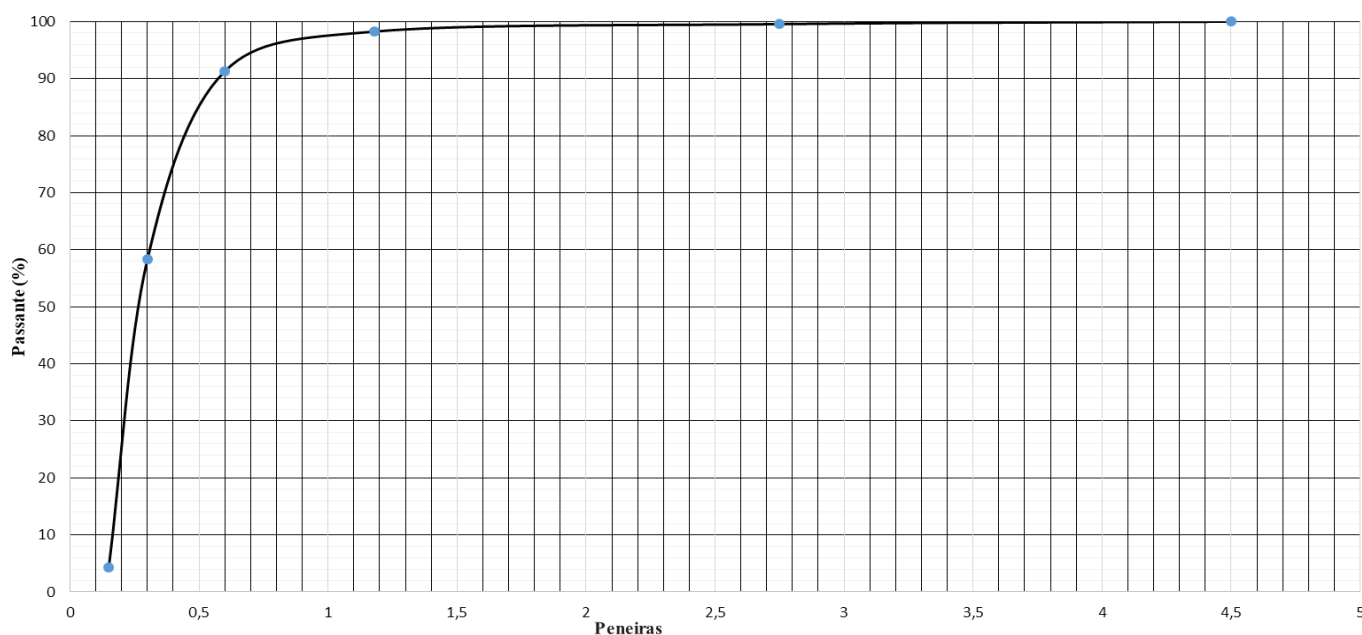
Fonte: Autora (2017).

A areia média com módulo de finura de 2,48 encontra-se logo abaixo do valor indicado pela norma, cujos valores ótimos variam entre 2,5 a 3,0, porém, por se tratar de uma diferença desprezível, optou-se pela utilização da mesma.

3.1.2.3 Agregado graúdo

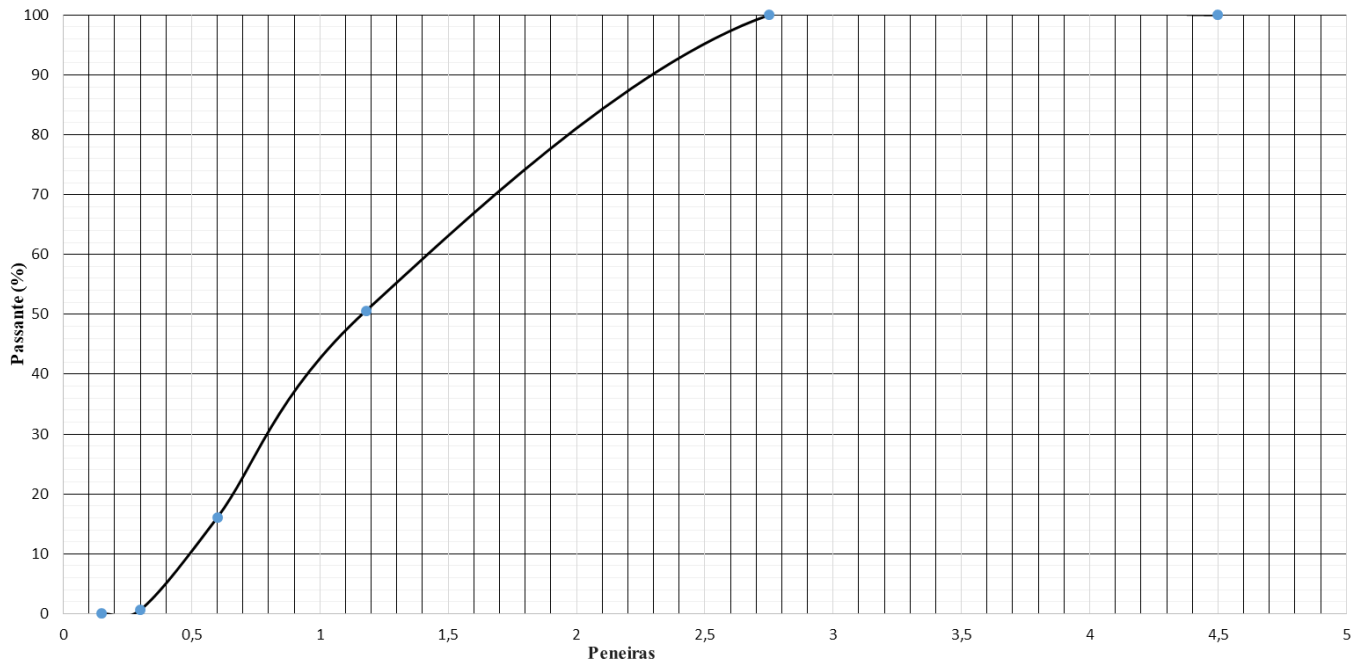
De acordo com as literaturas as dimensões do agregado a ser utilizado no concreto autoadensável devem variar entre 12,5 a 19 mm. Neste trabalho optou-se por pela utilização da brita 1. As dimensões máximas encontradas para o agregado graúdo foram de 12,5 mm para o material reciclado e 19 mm para o natural, as dimensões encontram-se nas Tabelas 3, 4 e 5, segundo a NBR 7217/87.

Gráfico 2: Composição granulométrica agregado graúdo reciclado – Brita 1.



Fonte: Autora (2017).

Gráfico 3: Composição granulométrica agregado graúdo natural – Brita1.



Fonte: Autora (2017)

Tabela 2: Caracterização física do agregado graúdo – Brita 1.

Módulo finura (MF) – Média dos agregados graúdos	1,74
Dimensão máxima característica - Agregado natural (DMC) (mm)	19,00
Dimensão máxima característica - Agregado reciclado (DMC) (mm)	12,50
Massa específica (g/cm ³) - Agregado natural	3,03
Massa específica (g/cm ³) - Agregado reciclado	2,38

Fonte: Autora (2017).

3.1.2.4 Água

Para a dosagem do concreto em questão, a água utilizada é proveniente da rede de abastecimento da SANEPAR na cidade de Cascavel-Paraná.

3.1.2.5 Adição mineral de fíler calcário.

O CAA fabricado contou com adição de fíler calcário, esta adição mineral ocorreu para que houvesse maior viscosidade e homogeneidade do CAA. E a escolha desse material, se deu devido à busca de um material, o qual, não interferisse na resistência do concreto. Esse tipo de fíler é o mais utilizado na região oeste do Paraná, sendo considerado o mais acessível para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1.2.6 Aditivos

Para a produção do concreto autoadensável utilizou-se do aditivo Tec-Flow 7030, seguindo a NBR EB-1763: Aditivos Para Concreto De Cimento Portland (ABNT, 1992). A propriedade do aditivo utilizado, pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 3: Propriedade do aditivo.

Propriedades	Valores
Massa específica (g/cm ³)	1,04 - 1,08

Fonte: Autora (2017).

3.1.2.7 Traço piloto do concreto

A dosagem do concreto produzido, teve um traço pré-determinado por Souza (2016), sendo: 1:0,15:2,10:1,70:0,40:1,25% (cimento: calcário: areia: brita 1: água: aditivo superplastificante).

A partir de um volume de 1,6 litros de cada corpo de prova, totalizando 14, utilizando-se as quantidades da Tabela 7 para cada traço.

Tabela 4: Quantidade de material.

Cimento	14 kg;
Calcário	3,5 kg
Areia média	29,4 kg;
Brita 1	23,8 kg;
Água	7 kg;
Aditivo	0,174 kg

Fonte: Autora (2017).

3.1.3 Procedimento de mistura

Para a fabricação do concreto da pesquisa, foram realizadas duas concretagens diferentes, a primeira sem substituição da brita natural e em seguida foi realizada a concretagem com substituição de 50% da brita natural pela reciclada. Para cada mistura foram confeccionados 7 corpos de prova.

Para a mistura dos materiais utilizou-se de um misturador convencional (betoneira), com capacidade de 400 L. A mistura seguiu uma ordem de execução pré-estabelecida por Souza (2016), onde:

- i) Inicialmente colocaram-se o agregado graúdo e 80 % da água a ser utilizada, misturando por um tempo de 30 segundos;
- j) Adicionou-se o fíler calcário e misturou-se por 30 segundos;
- k) Por seguinte, adicionou toda a quantidade de cimento misturando-se por mais 30 segundos;
- l) Adicionou-se o agregado miúdo, deixando a misturar pelo tempo de 180 segundos;
- m) Por seguinte desligou-se a betoneira para a raspagem da mistura que havia aderido as paredes do equipamento, durante o período de 30 segundos;
- n) Por fim acrescentou-se o restante da água juntamente com o aditivo superplastificante, deixando a mistura por mais 420 segundos no equipamento, para que assegurar a homogeneidade da massa.

A dosagem se tornou simples, devido ao traço ser previamente estabelecido, no entanto, se fez necessário modificar a quantidade de algum dos materiais no momento da concretagem, sendo assim o novo traço utilizado foi de: 1: 0,20: 2,10: 1,70: 0,44: 1,76% (cimento: calcário: areia: agregado graúdo: água: aditivo superplastificante). Os valores das adições realizada nos materiais podem ser observados na Tabela 7.

Na fabricação do CAA com agregado reciclado, fez-se necessário adição extra de fíler calcário na quantidade de 0,853 kg, afim de assegurar que não houvesse segregação da pasta.

3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova e a cura do mesmo, foram tomadas como base as especificações da ABNT (2016) a NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Após os ensaios iniciais do estado fresco do concreto, foram moldados 3 (três) corpos de prova para o módulo de elasticidade e, para os ensaios de resistência a compressão, confeccionaram-se 4 (quatro) corpos de prova cilíndricos de tamanho 10 x 20cm, por traço.

Os corpos de prova foram moldados em apenas uma camada, sem a necessidade de vibração ou adensamento manual.

Após a moldagem é comum adotar o tempo de 24 horas para a desforma, porém por motivos de força maior, a desforma ocorreu após 72 horas, em seguida foram encaminhados para a cura úmida.

Na cura úmida, a qual foi utilizada, os corpos de prova curados ficaram armazenados em uma estufa até a data dos ensaios. A câmara úmida possuía teor de umidade superior a 90% e temperatura controlada entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, assim como especifica a NBR 5738 (2003).

3.1.5 Coleta de dados

3.1.5.1 Ensaios de classificação do CAA no estado fresco

Os ensaios realizados para a determinação das características e classificação do concreto autoadensável, tem como base a NBR 15823 (2010). Tais características e classificação basearam-se nos ensaios de espalhamento, habilidade passante e fluidez.

3.1.5.1.1 Slump flow test

Seguindo a NBR 15823-2 (2010) – Concreto autoadensável parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone Abrams. O *Slump flow test* verificou o espalhamento do CAA. Para a realização deste ensaio foi necessário, primeiramente, ter uma base de formato quadrado e que possuísse dimensões de 1000 x 1000 mm, é importante ressaltar que a base deve ser impermeável e que esta não provoque atrito com o concreto.

Para a realização deste ensaio, foi colocado um tronco com a forma de cone em uma base onde estava um círculo com diâmetro de 200 mm, utilizado como referência para colocação do cone, que possuía 300 mm de altura, com diâmetro interno igual a 100 mm e

diâmetro maior de 200 mm. Para a medição do espalhamento, após soltar a pasta do cone e verificar sua estabilização sobre a base, o tempo de escoamento foi cronometrado e também utilizado uma régua para verificar o tamanho do diâmetro obtido.

Para a total execução do resto foi necessário: uma concha côncava, uma espátula e uma trena para a medição do espalhamento do concreto.

Segundo a norma, existem três classes em quais o CAA pode se encaixar, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Classes de espalhamento (*slump-flow*)

Classe	Espalhamento (mm)
SF1	550 a 650
SF2	660 a 750
SF3	760 a 850

Fonte: ABNT (2010).

3.1.5.1.2 Funil-V

A NBR 15823-5 (2010) – Concreto autoadensável parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V, Figura 5, responsável por medir a fluidez do CAA, além de permitir uma boa indicação da viscosidade do concreto, consistiu em medir o tempo para um certo volume, sendo este a quantidade de 10 litros, fluir completamente por um funil. Para Gomes (2002) quanto menor for o tempo de esvaziamento do funil, mais favorável é a capacidade de fluxo e alta viscosidade, com a sofrer bloqueio e segregação.

Para a realização do ensaio fez-se necessário a utilização de um funil-V, constituído por dois trechos com medidas e formas diferentes, sendo o trecho superior com seção transversal variável, possuindo altura de 45 cm, e seção interna superior de 51,5cm x 7,5cm e inferior de 6,5cm x 7,5cm (Figura 3). O trecho inferior com seção transversal interna na forma retangular e constante, possuía altura de 15cm que é prosseguida até o final onde possui dimensões de 6,5cm x 7,5cm.

É importante que no ponto de descarga do funil exista uma tampa a prova de passagem de água.

Figura 4: Ensaio Finil V

Fonte: Autora (2017)

Tabela 6: Classificação Funil V.

Classe	T ₅₀₀
VS 1	≤ 2
VS 2	> 2

Fonte: ABNT (2010).

3.1.5.2 Ensaio de classificação do CAA no estado endurecido

3.1.5.2.1 Compressão axial

Definida através da NBR 5739 (2007), a resistência a compressão do concreto realizou-se em 8 (cinco) corpos de prova cilíndrico, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, aos de 28 dias de idade.

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica aplicando tensão em toda a superfície do topo do corpo de prova, o carregamento deve ser aplicado sem choque a uma velocidade de 0,45±0,15 MPa/s.

O cálculo para chegar ao resultado final é dado através da Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi * D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c : Resistência à compressão;

F: é a força máxima alcançada (N);

D: é o diâmetro do corpo de prova (mm);

3.1.5.2.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto é direcionado por meio da NBR 8522 (2008): Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Foram realizados ensaios em 6 corpos de provas com dimensões de 10 x 20 cm e idade de 52 dias utilizando a metodologia A – tensão fixa, com constância na norma.

O ensaio consiste em quatro etapas, onde na primeira o corpo de prova foi carregado até a força correspondente do limite superior e mantido por 60 s; na segunda etapa o corpo de prova foi carregado até o medidor atingir uma deformação específica de 50×10^{-6} , mantendo por 60 s; a terceira etapa foi conduzida conforme a segunda; e na última etapa o corpo de prova foi carregado até o medidor de deformação atingir uma deformação específica de 50×10^{-6} , mantendo por 60 s e logo em seguida registrada a deformação ocorrida num tempo de 30 s, logo após, carregou o corpo de prova até a força correspondente do limite superior e manteve por 60 s, lendo em seguida a deformação em até 30 s.

Para o cálculo do módulo de elasticidade utilizou a Equação 2:

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\epsilon_b - \epsilon_a} \times \quad (2)$$

Onde:

E_{ci} : Módulo de elasticidade (GPa);

σ_b : Maior tensão (MPa);

0,5 é a tensão básica (MPa);

ϵ_b : é a deformação específica média, do CP sob a maior tensão;

ϵ_a : é a deformação específica média, do CP sob a tensão básica.

3.1.5.3 Análise dos dados

Após a coleta de dados, a partir dos ensaios finais de compressão, módulo de elasticidade do concreto fabricado e análise dos concretos no estado fresco, foram realizados gráficos e tabelas com os valores obtidos, onde, por meio destes realizou-se as devidas verificações com os valores especificados pelas normas, definindo-se assim, se o agregado graúdo reciclado pode ser substituído com sucesso na produção do CAA.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a metodologia apresentada, foram realizados os testes para caracterização e comparação dos concretos onde os mesmos foram comparados com as normas vigentes dos mesmos, afim de analisar se atendiam as especificações exigidas.

4.1.1 Propriedades no estado fresco

4.1.1.1 Slump-flow test

O primeiro ensaio a ser realizado foi o de espalhamento do concreto, logo após a mistura dos materiais ocorrer na betoneira. Neste ensaio mede-se o diâmetro (média de duas medidas ortogonais) do concreto espalhado, conforme a NBR 15823-2 (2010) e a Tabela 5.

Assim como o espalhamento também foi determinado o tempo de abertura de 500mm chamado de T_{500} . A Tabela 9.

Tabela 7: Resultados do Slump-flow test.

Traço	Espalhamento (mm)	T_{500} (s)
Agregado natural	747,5	3
Agregado reciclado	590	10

Fonte: Autora (2017).

No primeiro ensaio realizado com o concreto autoadensável de agregado natural, foram obtidos valores de espalhamento e tempo T_{500} condizentes com os valores médios encontrados na literatura, conforme Gomes (2002), espera-se espalhamentos na faixa de 600-750 mm e tempo de espalhamento entre 3-7 segundos, atendendo, assim também, a NBR 15823-2 (2010) e classificando como SF2.

No segundo ensaio, o concreto com substituição parcial de 50% da brita natural pela brita reciclada, verificou-se que o tempo para atingir 500 mm de abertura ultrapassou o que foi especificado por Gomes (2002), no entanto como foi um período de tempo pequeno, apenas 3 segundos, portanto o concreto foi utilizado normalmente. O espalhamento deste traço, atendeu a NBR 15823-2 (2010), cujo espalhamento especificado pode variar de 550 a 650 mm, neste caso e classificando como SF1.

Este ensaio permitiu a observação da fluidez do concreto em condições confinadas, bem como a observação de sinais que levassem a indicar que o concreto não estivesse bom para o uso, como a segregação ou exsudação da água, o que não ocorreu.

O CAA reciclado, teve uma maior fluidez, conseqüente menor valor, devido ao diâmetro do agregado ser menor quando comparado ao CAA convencional que utilizou de agregado graúdo com diâmetro mais elevado.

Na Figura 5, pode-se observar o concreto espalhado normal (primeira foto) e o concreto com agregado reciclado (segunda foto). Percebe-se que houve uma leve segregação no segundo concreto, enquanto o primeiro ficou em estado ótimo para uso.

Figura 5: Ensaio de *Slump test* nos diferentes concretos



Fonte: Autora (2017).

4.1.1.2 Funil-V

No ensaio realizado o funil-V, os tempos encontrados são mostrados na Tabela 10.

Tabela 8: Resultados do Funil-V.

Traço	t (s)
Agregado natural	5,23
Agregado reciclado	12

Fonte: Autora (2017).

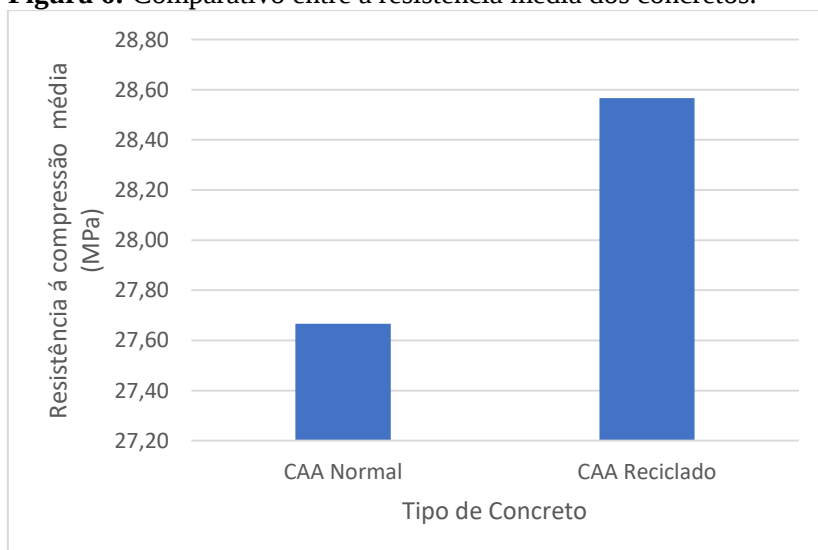
Verifica-se que ambos os concretos atendem os requisitos da NBR 15823-1 (2010) e sendo classificado como VF2, de acordo com a Tabela A.2 - Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação, da norma citada, e não houve segregação de material.

O tempo foi maior para o concreto reciclado, em torno de 43,6% mais lento quando comparado ao concreto sem substituição, devido a segregação que ocorreu.

4.1.2 Ensaio de compressão do concreto

É importante que antes da realização dos ensaios mecânicos, o topo dos corpos de provas os quais foram submetidos aos ensaios, foram fresados, afim de garantir que ambas as faces estejam iguais entre si.

Os resultados obtidos da resistência à compressão simples aos 28 dias, para os 4 corpos de provas, podem ser observados na Tabela 10 do Apêndice A e o comparativo entre as resistências médias na Figura 1.

Figura 6: Comparativo entre a resistência média dos concretos.

Fonte: Autora (2017).

O traço de concreto com agregado normal atingiu a resistência média de 27,66 MPa e para o concreto reciclado de 28,56 MPa aos 32 dias, visto que a princípio o ensaio seria realizado aos 28 dias, porém houve atraso por problemas técnicos na prensa utilizada no laboratório. O traço piloto do CAA possuía uma resistência estimada de 40 MPa aos 28 dias, portanto nenhum concreto atingiu essa resistência, fato que pode ser explicado pela condição de substituição do tamanho do agregado onde no traço piloto foi especificação pedrisco no lugar da brita 1 para agregados graúdos.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) as adições utilizadas no CAA contribuem além da coesão para a resistência à compressão do concreto como o agregado reciclado, segundo a bibliografia apresenta um teor maior de pulverulento do que o agregado natural. Verificou-se um aumento de 3% da resistência do concreto com agregado reciclado em relação ao agregado natural.

Atualmente os concretos estruturais exigem pela NBR 6118 (2013) – Projeto de estruturas de concreto, resistências superiores à 20 MPa, portanto mesmo com a alteração do traço e do emprego do agregado reciclado os concretos em estudo podem ser empregados estruturalmente.

4.1.2.1 Ensaio de módulo de elasticidade do concreto

No ensaio realizado para verificação do módulo de elasticidade do concreto autoadensável, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados do módulo de elasticidade

Módulo de elasticidade (Eci) - GPa	
CAA Normal	24,998
CAA Reciclado	20,322

Fonte: Autora (2017).

Sabe-se que o módulo de elasticidade do concreto tem influência do tipo de cimento e do tipo de agregado empregados nos concretos. Para Mehta e Monteiro (2014) a alteração do módulo de elasticidade do concreto tem relação com a porosidade do agregado, onde quanto

mais poroso é um agregado menor será a capacidade de restringir a deformação do concreto, ou seja, quanto mais denso o agregado maior será o módulo de elasticidade do concreto.

Como o agregado reciclado apresenta uma densidade menor do que o agregado natural, pode-se afirmar que a diferença encontrada no módulo de elasticidade de 18,7% pode estar relacionada com a porosidade do agregado, uma vez que estudos bibliográficos dizem que os agregados reciclados também apresentam uma absorção superior aos concretos convencionais.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos experimentos realizados, percebeu-se que a resistência do CAA aos 28 dias de idade era pra ser de 40 MPa, a qual não foi atingida, devido ao traço modificado no momento da concretagem, tendo desempenho menor do que o esperado, no entanto, não houve interferência desse fato no restante da pesquisa.

No que se refere as propriedades mecânicas do concreto autoadensável quando na utilização do agregado reciclado, os resultados foram satisfatórios, principalmente a respeito da resistência à compressão, tendo um bom resultado quando comparado ao CAA convencional, sem muita diferença de valores, pois suas propriedades agiram de maneira eficaz, mantendo a qualidade do concreto.

Os valores de módulo de elasticidade do concreto reciclado encontrados estão de acordo com o especificado por norma, mesmo tendo em vista que a elasticidade do CAA é menor quando comparada com o concreto convencional.

De modo geral observou-se através dos resultados, que o agregado reciclado por ser muito poroso, demanda uma quantidade maior de água no traço quando utilizado se comparado a um CAA com agregado natural, porém este tipo de agregado reciclado comportou-se de forma muito satisfatória e provou que a partir de alguns ajustes no traço pode ser melhorado e utilizado com êxito na indústria da construção civil.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- a) Influência do aditivo na fabricação do CAA.
- b) Analisar um novo traço, a fim de melhorar a resistência do concreto autoadensável reciclado.
- c) Utilizar outros tipos de materiais para substituição dos agregados naturais.
- d) Fazer uma analogia dos custos totais ao fabricar o CAA convencional e o CAA reciclado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823: Concreto Auto-Adensável**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8522: Concreto: Determinação Do Módulo Estático De Elasticidade À Compressão**. Rio De Janeiro, 2008.

_____. **NBR 12142: Determinação da Resistência à Tração na Flexão de Corpos de Prova Prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13956: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR EB-1763: Aditivos Para Concreto De Cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Governos desperdiçam mais de R\$ 8 bilhões com o lixo**. 2011. Acessado em 18 març.2017. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/governos-desperdicam-mais-de-r-8-bilhoes-com-o-lixo/>.

ÁVILA, A.V.; LIBRELOTTO, L. I.; LOPES, O.C. **Orçamento de obras**. Florianópolis, 2003. Apostila da disciplina Planejamento e Controle de Obras – Universidade do Sul de Santa Catarina – Curso de Arquitetura e Urbanismo.

BARIVIERA, Elton Schmitt. **Análise da Resistência a Compressão do Concreto Autoadensável com Adição de Sílica Ativada e Submetido a Diferentes Tipos De Cura**. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, 2016.

CARNEIRO, Alex Pires; OLIVEIRA, Ana Maria de; QUADROS, Bárbara Elizabete Correia; NEVES, Célia Maria Martins; COSTA, Dayana Bastos; ALBERTE, Elaine Pinto Varela; BRUM, Irineu Antônio Schadach de; CASSA, José Clodoaldo Silva; SANTANA, Marcos Jorge Almeida; BURGOS, Paulo César; SAMPAIO, Taís Santos; PINTO, Tarcísio de Paula; JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de Entulho Para a Produção de Materiais de Construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

DIN, EUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG. **Aggregates for mortar and concrete – part 100: Recycled Aggregates**. Germany, 2002.

EFNARC - European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC. Fevereiro, 2002.

GOMES, Paulo Cesar Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

HENDRIKS, C. F. **The building cycle**. 231 p. Delft: Aeneas, 2000.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. São Paulo: Atlas, 2000.

MOLIN, Denise Carpena Coutinho dal. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2004. 63 f. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RIBEIRO JÚNIOR, Enio. **Propriedades Dos Materiais Constituintes Do Concreto**. 2015. Instituto de Pós-graduação - Ipog, Goiânia, Go, 2015

RILEM RECOMMENDATION. **Specification for concrete with recycled aggregates**. Materials and Structures. v. 27, p. 557-59, 1994.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley Moacyr. **Utilização de Resíduos na Construção Civil**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

SINDUSCON. **Publicidade Qualifique Gerenciamento De Resíduos Da Construção Civil**. 2004. Disponível em: <<http://sindusconpr.com.br/gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil-1960-p>>. Acesso em: 16 abr.2017.h

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

APÊNDICE A – TABELA DE RESISTÊNCIA**Tabela 10:** Resistência à compressão.

Resistência estimada aos 28 dias (MPa)	Resistências à compressão obtidas para cada teor de substituição de agregado graúdo - 4 corpos de provas (MPa)	
	0%	50%
40	27,4	27,5
	28,5	25,8
	27,1	32,4

Fonte: Autor (2017).