

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RITIANNE KUNZLER DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS
DE RCD CLASSE CINZA EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS**

ALEGRETE

2015

RITIANNE KUNZLER DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS DE RCD
CLASSE CINZA EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS**

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

Orientador: Profº Dr. Ederli Marangon

Alegrete

2015

RITIANNE KUNZLER DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS DE RCD
CLASSE CINZA EM CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: dia, mês e ano.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ederli Marangon

Orientador

Unipampa

Prof. Dr. Sidiclei Formagini

UFMS

Profª. Ms. Simone Dornelles Venquiaruto

Unipampa

Dedico esse trabalho à minha adorada mãe, Maria Beatriz. Sem ela nada seria possível. Muito obrigada mãe, por jamais ter desistido de mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, o Pai Maior, à Jesus Cristo, Nosso Amigo e Mestre, às falanges protetoras de Amigos Espirituais e ao meu Mentor Espiritual, que mesmo nos momentos que eu mesma não acreditei em mim, eles acreditaram, ampararam e fortaleceram.

À minha mãe, Maria Beatriz, maior incentivadora, agradeço-a por existir e ser meu maior e melhor exemplo de ser humano, que falha e acerta, mas que sempre tenta e não desiste!

Aos meus melhores amigos, Alff, Guria e Tsunami, por alegrarem meus dias, com uma graça, um carinho, ou simplesmente pela lealdade.

Aos amigos e familiares encarnados, Dona Tânia, Dona Quina, Tia Vera, Tia Cema, Tia Fernanda, Tia Lúcia, Tio Mário, todos os companheiros e amigos de Doutrina Espírita, por terem dispensado alguns minutos dos seus dias fazendo preces para que obtivesse êxito.

Ao professor orientador Ederli Marangon, pela orientação, por dividir um pouco do seu conhecimento comigo, pela disponibilidade e paciência.

Aos colegas de faculdade que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente à colega Jéssica Kaiser, pela ajuda nos ensaios de caracterização dos materiais e à colega e amiga Helen Cristine Vieira, pela presença e grande colaboração, incansável, na realização dos ensaios nos concretos produzidos.

Aos responsáveis técnicos pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da Unipampa Campus Alegrete, especialmente ao Engenheiro Civil Marcelo de Jesus Dias de Oliveira por ser incansável e fazer muito mais que o possível para que os alunos consigam realizar seus ensaios.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

Neste trabalho são produzidos e caracterizados concretos autoadensáveis (CAA) com substituição parcial de agregados graúdos naturais por agregados graúdos de resíduos de construção e demolição classe cinza (AGR). O método de dosagem utilizado foi o método Gomes, Gettú e Agulló. Os traços dos concretos produzidos foram determinados partir da composição de dois esqueletos granulares, um para determinar a proporção de agregado graúdo natural que seria substituída por agregado graúdo de resíduo de construção e demolição e outro para determinar a proporção desta composição com o agregado miúdo natural. Assim quatro misturas foram definidas, concreto autoadensável de referência (CAA_{REF}), concreto autoadensável com 40% de agregado graúdo de resíduo de construção e demolição (CAA_{40%}), concreto autoadensável com 50% de agregado graúdo de resíduo de construção e demolição (CAA_{50%}) e concreto autoadensável com 60% de agregado graúdo de resíduo de construção e demolição (CAA_{60%}). As misturas tiveram suas propriedades reológicas e mecânicas analisadas. No estado fresco foram realizados ensaios para avaliar a habilidade passante na Caixa-L e no Anel-J, a viscosidade plástica aparente no ensaio de tempo de escoamento (t_{500}) e no ensaio do Funil-V, e trabalhabilidade nos ensaios de espalhamento e cone invertido, os resultados obtidos demonstram que com a substituição parcial de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado as misturas apresentaram maior viscosidade, diminuição da habilidade passante e fluidez. Quanto à análise mecânica foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral nos corpos-de-prova de concreto que indicaram que, no estado endurecido, a mistura CAA_{40%} apresentou melhores resultados nos dois ensaios, e observou-se que nenhuma das amostras submetidas à tração por compressão diametral apresentou aparente segregação dos agregados.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Resíduo de construção e demolição. Ensaio reológicos. Ensaio mecânicos.

ABSTRACT

This work produced and characterized autoadensáveis concrete (SCC) with partial replacement of natural coarse aggregate by coarse aggregates of construction waste and demolition gray class. The dosage used was the method Gomes, Gettú and Agulló. The traits of the concretes produced were determined from the composition of two skeletons, a granular to determine the proportion of coarse aggregate natural would be replaced by coarse aggregate from construction and demolition waste and another to determine the proportion of this composition with the aggregate natural kid. So four mixes were defined, self-compacting concrete reference (SCC_{REF}), self-compacting concrete with 40% of coarse aggregate from construction and demolition waste (SCC_{40%}), 50% of self-compacting concrete with coarse aggregate from construction and demolition waste (SCC_{50%}) and autoadensável concrete with 60% of coarse aggregate from construction and demolition waste (SCC_{60%}). Mixtures had their rheological and mechanical properties analyzed. Fresh tests were performed to evaluate the passing ability in the L-Box and J-Ring, plastic viscosity apparent in the time of disposal (t_{500}) and V-Funnel test, and workability for Slump flow test and Inverted cone, the results obtained show that the partial replacement of coarse aggregate by recycled coarse aggregate natural mixtures presented a higher viscosity, decrease in passing skill and fluidity. As for the mechanical analysis were conducted the tests for resistance to axial compression and tensile by diametral compression on the bodies-of-proof of concrete that indicated that in hardened, the mixture SCC_{40%} presented better results in two trials, and it was observed that none of the samples subjected to traction by diametral compression presented apparent segregation of aggregates.

Keywords: self-compacting concrete. Construction and demolition waste. Rheological tests. Mechanical tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição do método de dosagem	28
Figura 2 - Descrição da metodologia empregada	34
Figura 3 - Britador de mandíbulas	35
Figura 4 - Curvas granulométricas dos materiais	36
Figura 5 – Gráfico peso unitário x volume de vazios – AGN e AGR	39
Figura 6 - Gráfico peso unitário x volume de vazios – AMN e AG	39
Figura 7 – Medida do (a) espalhamento e do (b) abatimento dos CAA	45
Figura 8 – Ensaio de espalhamento com o cone invertido	45
Figura 9 – Ensaio com o Funil-V	46
Figura 10 – Indicação das alturas da Caixa-L	47
Figura 11 – Ensaio com a Caixa-L	48
Figura 12 - Ensaio de espalhamento com o Anel-J	49
Figura 13 – Espalhamento das misturas	52
Figura 14 - Espalhamento com o Anel-J	55
Figuras 15 – Ensaio de ruptura por compressão diametral – σ_t	58

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Classificação dos agregados	36
Tabela 2 - Massa específica e absorção de água dos AG	37
Tabela 3 – Massa unitária AGN, AGR e AMN	38
Tabela 4 – Traço CAA _{REF}	42
Tabela 5 – Traço CAA _{50%}	43
Tabela 6 – Traços comparativos	44
Tabela 7 – Classes de espalhamento	44
Tabela 8 – Classes de viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre)	45
Tabela 9 – Classes de viscosidade plástica aparente pelo Funil-V	47
Tabela 10 – Classes de habilidade passante pela Caixa-L (sob fluxo confinado) ...	48
Tabela 11 – Classes de habilidade passante pelo Anel-J (sob fluxo livre)	50
Tabela 12 – Valores médios de abatimento e espalhamento dos CAA	51
Tabela 13 – Tempo de fluxo e classificação dos CAA no ensaio do Funil-V	53
Tabela 14 – Habilidade passante e classificação dos CAA no ensaio da Caixa-L ..	54
Tabela 15 – Resultados de d_F e classificação quanto a habilidade passante pelo Anel-J	55
Tabela 16 – Valores de σ_c , DV e cv	57
Tabela 17 – Valores de σ_t , DV e cv	57
Quadro 1: Ensaio reológico no concreto e sua relevância no CAA	25
Quadro 2: Métodos de dosagem para CAA	26
Quadro 3 - Classes de resíduos da construção civil, tipos e destinação	31
Quadro 4 - Diferenciação entre resíduos	32
Quadro 5 – Resultados ensaios reológicos	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
AG – Agregado graúdo;
AGN – Agregado graúdo natural;
AGR – Agregado graúdo de RCD;
AM – Agregado miúdo;
AMN – Agregado miúdo natural;
AR – Agregado reciclado;
CAA – Concreto autoadensável;
CAA_{REF} – Concreto autoadensável referência;
CAA_{40%} – Concreto autoadensável com 40 % AGR;
CAA_{50%} – Concreto autoadensável com 50 % AGR;
CAA_{60%} – Concreto autoadensável com 60 % AGR;
CAD – Concreto de Auto Desempenho;
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
cp's – Corpos-de-prova;
CP – Cimento Portland;
CV – Cinza volante;
cv – coeficiente de variação;
DP – Desvio padrão
MPa – Mega pascal;
NBR – Norma Brasileira;
NM – Norma Mercosul;
PJ – Classe de habilidade pelo Anel-J;
PL – Classe de habilidade pela Caixa-L;
RCD – Resíduo de Construção e Demolição;
SF – Classe de espalhamento;
VF – Classe de viscosidade plástica aparente pelo Funil-V;
VS – Classe de viscosidade plástica aparente pelo ensaio t₅₀₀;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contextualização do tema.....	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Estrutura do trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Concreto autoadensável (CAA)	18
2.1.1 Vantagens da utilização do CAA.....	18
2.1.2 Desvantagens da utilização do CAA.....	19
2.1.3 Cimento	20
2.1.4 Agregados.....	21
2.1.4.1 Agregados miúdos – (AM).....	21
2.1.4.2 Agregados graúdos – (AG)	22
2.1.5 Adições minerais.....	22
2.1.6 Aditivos	24
2.1.7 Ensaio reológico no CAA no estado fresco	24
2.1.8 Métodos de dosagem.....	26
2.1.8.1 Método de Gomes, Gettú e Agulló	26
2.2 Resíduos de construção e demolição (RCD)	28
2.2.1 Classificação dos RCD's	29
2.2.2 Agregados de RCD	32
2.2.2.1 Classificação dos agregados de RCD.....	32
2.2.2.2 Legislação e normatização para a utilização de agregados de RCD	33
3 METODOLOGIA	34
3.1 Caracterização dos materiais	35
3.1.1 Agregados	35
3.1.1.1 Granulometria	35
3.1.1.2 Massa específica dos agregados	36

3.1.1.3 Massa unitária e volume de vazios dos agregados	37
3.1.1.4 Esqueleto granular	38
3.1.2 Caracterização do Cimento Portland (CP) e Cinza volante (CV)	40
3.1.3 Aditivos	40
3.1.4 Água	40
3.2 Dosagem do CAA – Método de Gomes, Gettu e Agulló	40
3.2.1 Determinação do volume de pasta (Vp)	41
3.2.2 Composição dos traços dos e determinação do consumo real de cimento	41
3.2.3 Determinação das propriedades reológicas	44
3.2.3.1 Ensaios de abatimento e espalhamento	44
3.2.3.2 Funil-V	46
3.2.3.3 Caixa L	47
Figura 11 – Ensaio com a Caixa-L	48
3.2.3.4 Anel-J	49
3.2.4 Ensaios mecânicos	50
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Propriedades dos CAA no estado fresco	51
4.1.1 Ensaios de abatimento e espalhamento	51
Figura 13 – Espalhamento das misturas	52
4.1.2 Fluides no Funil-V	53
4.1.3 Escoamento na Caixa-L	54
4.1.4 Escoamento pelo Anel-J	54
Figura 14 - Espalhamento com o Anel-J	55
4.1.5 Resumo dos ensaios reológicos	56
4.2 Propriedades dos CAA no estado endurecido	56
Figuras 15 – Ensaio de ruptura por compressão diametral – σ_t	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
5. 1 Sugestões para trabalhos futuros	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	1461

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

Nos últimos anos tem-se discutido a respeito do tema sustentabilidade, principalmente na área da construção civil, que é um dos setores que mais geram resíduos e agredem o meio ambiente. Se aliar isso ao grande crescimento urbano pelo qual a sociedade passa, faz-se necessário a utilização de novas tecnologias, como o concreto autoadensável (CAA), por exemplo, para acelerar a execução das obras, manter e melhorar critérios como a segurança.

O CAA é avaliado como um avanço tecnológico, nos últimos tempos, na área da construção civil e engenharia de materiais, tratando-se de concretos de alto-desempenho (CAD), por possuir a capacidade de preencher e adaptar-se a espaços dentro de uma estrutura, por meio de seu peso próprio, sem haver a necessidade da utilização de equipamentos de vibração (PERIUS, 2009).

Apesar de ser considerado um avanço para a área, Santos e Silva (2009?) destacam que este tipo de concreto é pouco utilizado, devido ao pouco conhecimento a respeito do assunto. E isto acontece por acreditar-se que os materiais constituintes do CAA são de difícil aquisição e manuseio, sem mencionar a diferença no custo deste concreto, se comparado ao convencional. Tutikan e Dal Molin (2008) citam que, para produzir o CAA, é necessário o emprego de produtos que são bastante onerosos, o que demonstra o alto custo deste produto.

No entanto, estes fatores estão sendo derrubados por meio de pesquisas que o meio científico vêm realizando sobre o assunto. Alguns estudos demonstram que, além de inúmeras vantagens, o CAA pode proporcionar uma redução no custo final da obra (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008; PERIUS, 2009; BARROS; GOMES; BARBOZA, 2010). E uma das maneiras de tornar os concretos e argamassas menos onerosos é substituir partes dos seus agregados graúdos, ou miúdos, por resíduos de construção e demolição (RCD), que são gerados pela indústria da construção civil.

Como esta tecnologia, o CAA, ainda é mais caro que os processos tradicionais, é preciso que o meio científico estude novas formas de diminuir esses custos. Ademais, é importante destacar que, conforme Branco (2012), no Brasil, torna-se cada vez mais viável a reciclagem de RCD, pois as empresas demolidoras oferecem

descontos caso exista a possibilidade de reaproveitar os resíduos gerados na própria obra ou em localidades próximas.

Em vista disso, e com a diminuição das jazidas naturais para extração do agregado graúdo, torna-se necessário encontrar maneiras viáveis de minimizar a falta de matéria-prima natural, que já ocorre em alguns países da Europa. Miranda, Angulo e Cireli (2009), relatam que no Brasil iniciaram-se pesquisas científicas com a utilização de agregados reciclados de RCD com Pinto (1986) e Levy (1997) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, e Zordan (1997) em concretos. Destacam ainda que os estados de São Paulo (1991), Paraná (1993) e Minas Gerais (1993) foram os pioneiros instalando usinas de reciclagem nas prefeituras municipais de São Paulo, Londrina e Belo Horizonte. Pinto (1999) destaca a importância da reciclagem dos resíduos gerados pela indústria da construção civil quando afirma que o RCD é equivalente a 50% da massa dos resíduos sólidos municipais. Quando destinada de forma inadequada essa massa de resíduos pode degradar a qualidade de vida nas zonas urbanas, sobrecarregando os serviços municipais de limpeza pública, pois os recursos públicos já são poucos e muitas vezes são redirecionados para quitar os gastos com coleta, transporte e disposição de resíduos depositados irregularmente em áreas públicas, sendo que estes custos, na realidade, são de responsabilidade dos geradores, ou seja, no caso dos RCD's, a indústria da construção civil.

Por isso, que para aliar estes dois temas, RCD e CAA, é preciso saber se é possível substituir o agregado graúdo por RCD e qual a melhor porcentagem desta substituição para que o CAA não perca ou diminua suas propriedades como trabalhabilidade e resistência.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O estudo tem como objetivo desenvolver e caracterizar concretos autoadensáveis (CAA's) com substituição parcial dos agregados graúdos naturais (AGN) por agregados reciclados de resíduo da construção e demolição de classificação cinza (RCD de classificação cinza).

1.2.2 Objetivos específicos

- efetuar a caracterização física dos materiais constituintes do concreto autoadensável: cimento, areia, brita e resíduo da construção e demolição;
- determinar o traço das misturas com e sem substituição parcial de agregado gráúdo natural (AGN) por agregado gráúdo de resíduo de construção e demolição (AGR);
- realizar ensaios reológicos no concreto autoadensável, tais como: ensaios de espalhamento (cone invertido e espalhamento), de fluidez Funil-V e de habilidade passante utilizando a Caixa-L e o Anel-J;
- classificar as misturas conforme prescrição da NBR 15823-1;
- realizar ensaios mecânicos para avaliação de resistência, tais como: ensaios de compressão axial e de compressão diametral.

1.3 Justificativa

O CAA é uma tecnologia recente no mundo, por isso faz-se necessário o estudo a seu respeito. E, justamente por tratar-se de uma tecnologia recente, estudos precisam ser realizados para mostrar a viabilidade em produzi-lo com menor custo. Aliado a este fator, também se encontra fatores que denotam a importância que deve ser dada às questões que tratam da sustentabilidade, da proteção ao meio ambiente e de seus recursos naturais.

Assim, procurando preservar as jazidas naturais, tão degradadas pela indústria da construção civil, além de buscar a diminuição do volume de RCD gerado pela indústria, tem-se empregado agregados gráudos e miúdos provenientes dos RCD's. Deste modo, é necessário estudar um CAA de qualidade, produzido com agregados gráudos de RCD, de classe cinza, para tornar o emprego do CAA viável economicamente, sendo possível trabalhar a favor da sustentabilidade, uma vez que a tecnologia do CAA dispensa certas etapas da concretagem como, por exemplo, a vibração mecânica.

Em 2002, demonstrando preocupação com o destino que os RCD's tinham, foi estabelecida a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA,

que trata de como descartar e utilizar, sempre que possível, os resíduos gerados pela indústria da construção civil.

Ademais, a Lei nº 12.305, que estabeleceu a Política Nacional dos resíduos Sólidos, aborda a questão dos resíduos da construção civil, apresentando, entre seus princípios, a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos; a redução dos impactos ambientais e do consumo de recursos naturais; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e de renda, bem como promotor da cidadania.

Esta Lei aborda questões como a proteção da saúde pública e a qualidade ambiental; a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e de consumo, de bens e serviços; a redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos. Diante disso, busca-se, com este trabalho, promover o que preconiza tal legislação.

1.4 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo é composto pela introdução do trabalho, que contextualiza brevemente o tema, além de definir o problema e a questão de pesquisa, os objetivos e justificar a escolha do tema.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o CAA e os ensaios laboratoriais que serão executados para avaliar o concreto no estado fresco e no estado endurecido.

A metodologia utilizada é apresentada no capítulo três.

O capítulo quatro apresenta a análise e discussão dos resultados.

As considerações finais e sugestões para trabalhos futuros são apresentados na capítulo cinco.

E, por fim, o capítulo seis apresenta as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto autoadensável (CAA)

Desde o seu surgimento no século XIX, o concreto de cimento Portland é bastante utilizado e, devido o desenvolvimento da urbanização mundial, o setor da construção civil cresceu bastante, com isso, a demanda deste material também aumentou. Necessidades como durabilidade, dificuldade de adensamento e maior qualidade das construções, assim, apareceram. Para solucionar estes problemas foi desenvolvido, no final da década de 1980, no Japão, o CAA.

Assim, um concreto pode ser denominado como CAA somente se algumas propriedades forem alcançadas simultaneamente, tais como fluidez, coesão necessária para que a mistura escoe livre entre as barras de aço (EFNARC, 2002) e resistência à segregação (TUTIKIAN; DALMOLIN, 2008).

Conforme os referidos autores, tais propriedades podem ser entendidas da seguinte forma:

- **Fluidez:** capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços vazios.
- **Habilidade passante:** capacidade da mistura de escoar por entre as armaduras de aço, sem que haja segregação.
- **Resistência à segregação:** capacidade do CAA de manter-se coeso ao escoar dentro das fôrmas, passando, ou não, por obstáculos.

A partir daí, conforme observam Gomes e Barros (2009), o CAA é um concreto especial, não somente por possuir propriedades diferentes dos demais concretos, mas por ter surgido para suprir as deficiências que os concretos convencionais não podiam sanar, tais como, fôrmas com aparências complexas, estruturas densamente armadas, entre outras.

2.1.1 Vantagens da utilização do CAA

O CAA é uma das grandes revoluções tecnológicas do concreto para a construção nas últimas décadas, pois com a sua utilização é possível obter inúmeros ganhos diretos e indiretos, entre os quais Tutikian e Dal Molin citam (2008):

- a) rapidez na execução da construção, pois seu lançamento é rápido e dispensa o adensamento;
- b) diminuição na mão-de-obra utilizada no canteiro, por não ser necessário a vibração, além de facilitar o espalhamento e nivelamento do concreto;
- c) melhoria no acabamento final da superfície;
- d) por possuir maior facilidade de adensamento pode aumentar a durabilidade, sendo evitadas as ocorrências de falhas de concretagem e vazios resultantes da má vibração;
- e) o CAA preenche fôrmas de diferentes maneiras, o que permite maior liberdade de formas e dimensões;
- f) possibilita concretagens em peças de seções reduzidas;
- g) com a utilização do CAA não há ruído de vibração, fator importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- h) devido a redução do número de trabalhadores o ambiente de trabalho é mais seguro;
- i) como o CAA utiliza em sua composição altos teores de resíduos industriais, tais como cinza volante, escória de alto forno ou cinza de casca de arroz proporciona muitos ganhos ecológicos;
- j) se todas as vantagens citadas anteriormente forem computados pode-se reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Pelo que foi exposto, verifica-se que o CAA trouxe melhorias na qualidade dos produtos e na eficácia da indústria da construção. Mesmo que ofereça diversos benefícios econômicos e técnicos, deve-se ressaltar que ele está sujeito à ação de agentes químicos autógenos significativos e a retração por secagem de maneira mais acentuada daquela que se verifica nos concretos convencionais, e isto pode causar formação de fissuras e trincas (ROZIÈRE, et al., 2007).

2.1.2 Desvantagens da utilização do CAA

O CAA possui mais vantagens do que desvantagens, mas possui algumas desvantagens que são citadas a seguir, com base em Tutikian e Dal Molin (2008):

a) alto custo, pois, para produzi-lo é necessário o emprego de aditivos superplastificantes (SP) e modificadores de viscosidade (MV), visto que são produtos bastante onerosos, cuidados especiais no transporte, pois deve-se evitar ao máximo que o CAA perca a fluidez ou segregue;

b) controle tecnológico, que deve ser rigoroso, porque utiliza aditivos que devem ser dosados em quantidade exata, dificultando sua dosagem. Pporque qualquer erro na dosagem poderá causar segregação, perda da fluidez, entre outras propriedades no estado fresco do CAA;

c) a disponibilidade do tempo de aplicação é menor devido ao uso dos aditivos.

2.1.3 Cimento

Segundo EFNARC (2005), todos os cimentos que estiverem de acordo com o estabelecido pela EN 197-1 (BS, 2011) podem ser usados para a produção do CAA. A escolha correta do tipo de cimento é feita conforme a necessidade específica de cada aplicação. Porém a literatura adverte que os melhores cimentos são os sem adições minerais, para que as mesmas não influenciem as propriedades do concreto durante as pesquisas. Então de acordo com o exposto constata-se que o tipo ideal de cimento Portland seria o CP I, porque este cimento não possui adições. Mas este tipo de cimento é difícil de encontrar no mercado brasileiro, por isso é possível verificar que em diversos trabalhos foi empregado o cimento CP II ou CP III, tais como os trabalhos realizados por (MARANGON, 2006; BARROS; GOMES; BARBOZA, 2010; NEPOMUCENO; OLIVEIRA; LOPES, 2010). Conforme Tutikian e Dal Molin (2008), para a confecção de CAA pode-se usar os mesmos cimentos que são adotados para produção de concretos convencionais, sendo iguais as determinações referentes à durabilidade e a utilização adequados. Não há nenhum critério científico que indique o cimento mais adequado para CAA. O melhor cimento é o que apresenta a mínima variabilidade em termos de resistência à compressão.

2.1.4 Agregados

Alexander e Mindess (2005) declaram que a composição granulométrica dos agregados influencia muito a qualidade dos concretos, atuando nas propriedades de compacidade e resistência. Ainda conforme os autores anteriormente referidos, que afirmam que a granulometria do agregado tem influência no empacotamento dos grãos e resulta na alteração da fração volumétrica dos agregados graúdos que serão incorporadas em uma concretagem. A fração volumétrica relaciona-se, principalmente, ao módulo de elasticidade de concreto e à retração por secagem, sendo que os concretos com mais agregados graúdos e, por consequência, menor teor de argamassa, são menos deformáveis e a possibilidade de fissurarem por retração na secagem.

De acordo com EFNARC (2005), um alto volume de pasta de cimento é necessário no CAA, o que ajuda a reduzir o atrito entre as partículas de agregados graúdos. Porém, esta Federação europeia especializada em produtos de construção e sistemas industrializados de concreto adverte que métodos de dosagem misturando mais de um tipo de areia otimizam a curva granulométrica e auxiliam a diminuir o alto volume de pasta.

2.1.4.1 Agregados miúdos – (AM)

De maneira geral, todas as areias podem ser usadas para a produção do CAA. Neste sentido é possível utilizar tanto areias naturais (depósitos eólicos e de beira de rio) quanto areias obtidas por processos industriais. As primeiras são melhores, pois possuem forma mais arredondada e textura mais lisa. É preciso um cuidado especial ao utilizar areias industriais, porque elas normalmente apresentam granulometria descontínua, ou seja, vazios nas frações intermediárias. A correção desses vazios pode ocorrer por meio de composição com outra areia, por exemplo, areia média de rio (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

De acordo com EFNARC (2005), os AM influenciam significativamente as propriedades do CAA no estado fresco, assim como o agregado graúdo (AG). Partes de partículas menores que 0,125 mm podem ser adicionadas na quantidade de finos da pasta e fazer parte da relação água/pó.

2.1.4.2 Agregados graúdos – (AG)

De acordo com Branco (2012), os AG empregados na produção do CAA possuem as mesmas características dos AG empregados nos concretos convencionais. Distinguindo-se somente, nas características do diâmetro máximo dos agregados, pois, como o CAA possui a capacidade de autoadensamento, é necessário um diâmetro máximo menor para que o mesmo atenda com eficiência suas propriedades.

Na composição do concreto, a aderência agregado-pasta de cimento desempenha uma função importante para a interação entre os dois componentes. Por isso, o formato e a textura superficial do agregado são fatores relevantes no comportamento mecânico. Mesmo que os agregados angulares, com superfícies ásperas, ofereçam melhor aderência com a pasta de cimento que agregados lisos e arredondados, é possível que surjam efeitos opostos no aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade, se este agregado for muito anguloso.

Deste modo, Tutikian e Dal Molin (2008) observam que é indicado para o CAA agregados que possuam coeficiente de forma o mais próximo possível de 1(um).

2.1.5 Adições minerais

O CAA possui a elevada resistência à segregação como uma de suas principais características, além da alta fluidez ou deformabilidade no estado fresco. Para ocorrer o aumento da coesão da mistura e impedir a segregação do AG, é normal utilizar aditivos MV e/ou adições minerais (TUTIKIAN; DAL MOLIN,2008). Estes autores, ainda afirmam que as adições minerais devem ser escolhidas depois de uma análise técnica e econômica e podem ser várias, desde que possuam maiores áreas superficiais que a do componente que estão substituindo.

Conforme Possan (2004), a presença de adições minerais permite que o fenômeno da carbonatação ocorra mais rapidamente. Pois, ocorre um desenvolvimento da profundidade carbonatada para misturas com altos teores de substituição (50% de cinza de casca de arroz ou cinza volante) e maior relação água/aglomerante. Enfatiza-se que os tipos de adições, teores de substituição e

relação água/aglomerante possuem uma influência maior na profundidade de carbonatação do que a finura dos grãos das adições.

Além de serem responsáveis por proporcionar a resistência a segregação da mistura, as adições minerais podem desempenhar uma função importante a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008). Os autores também garantem que com sua ação físico-química as adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, classificam-se em dois grandes grupos: adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

As ações químicas das adições caracterizam-se, especialmente, pela habilidade de reação com a Portlandita, formando-se o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) a partir desta reação (conhecida como pozolânica). Materiais como a sílica ativa, o metacaulim, a cinza de casca de arroz, a cinza volante e a argila calcinada são exemplos de adições pozolânicas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O fíler é uma adição mineral finíssima que não possui atividade química, ou seja, ele provoca o efeito de empacotamento granulométrico e age como pontos de nucleação para hidratar os grãos de cimento. Os fílers devem ser incorporados ao CAA para substituir o AM, por ser mais fino que este agregado, esta característica oferece melhores condições de compacidade do esqueleto granular e coesão da estrutura. Eles podem ser naturais ou materiais inorgânicos processados, desde que sejam uniformes e, principalmente, finura (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Segundo Bosiljkov (2003), a adição de fíler calcário proporciona diferentes efeitos sobre as características no estado fresco e endurecido do concreto. Este material atua como ponto de nucleação para o C-S-H e o hidróxido de cálcio (CH) no período de hidratação nas primeiras idades, acelerando a hidratação dos materiais constituintes do clínquer, especialmente o C_3S , a resistência do concreto nas primeiras idades.

Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que os fílers mais tradicionalmente utilizados para produzir CAA têm sido o calcário e a areia fina. Mas outras adições minerais podem ser usadas, como, por exemplo, o pó granítico.

2.1.6 Aditivos

Conforme a NBR EB – 1763 (ABNT, 1992), produtos que adicionados em quantidades pequenas em concretos de cimento Portland que modifiquem algumas de suas propriedades, com o propósito de obter uma determinada condição, são denominados aditivos.

Os aditivos usados para a produção de CAA são os SP à base de policarboxilatos. Ainda existem outras variedades de aditivos que, podem ser empregados, quando necessário, para obter-se as características de um CAA, tais, como agentes modificadores de viscosidade, utilizados para melhorar a estabilidade; aditivos incorporadores de ar, que diminuem as tensões de congelamento e descongelamento dos concretos em regiões de frias; aditivos retardadores de pega, entre outros (VIEIRA, 2014). O aditivo SP é uma variedade de aditivo essencial para a fabricação do CAA (BRANCO, 2012). São também utilizados os aditivos modificadores de viscosidade (MV).

Os aditivos SP permitem conseguir alta fluidez nas misturas, já os aditivos MV aumentam a coesão, precavendo a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

2.1.7 Ensaios reológicos no CAA no estado fresco

Conhecer os materiais constituintes, as proporções adequadas os efeitos causados são importantíssimos para produzir um CAA com as melhores propriedades de adensamento do concreto. Estas propriedades são avaliadas por meio de ensaios específicos, principalmente no estado fresco (GOMES; BARROS, 2009).

A ciência da fluidez e deformação do material é a reologia, ela ocorre quando o material é submetido a uma determinada tensão ou esforço mecânico, é uma ferramenta que deve ser utilizada para descrever adequadamente a trabalhabilidade e mobilidade de materiais à base de cimento, como pastas de cimento, argamassas e concretos. Esta ciência serve para a avaliação de materiais à base de cimento no estado fresco (MARANGON, 2006).

Ainda conforme o autor anteriormente citado para determinar os elementos tensão de escoamento e viscosidade plástica dos concretos, são empregados

reômetros que permitem que sejam determinados dos elementos de resistência ao cisalhamento e da viscosidade plástica sob diferentes taxas de deformação. O autor afirma que se não tiver à disposição um reômetro, utilizam-se métodos menos complicados. Os métodos mais utilizados para avaliar o comportamento reológico no estado fresco do CAA são diferentes dos métodos utilizados para o concreto convencional. Estes métodos avaliativos consistem na determinação das propriedades, como fluidez por meio do seu peso próprio e capacidade de preencher espaços, entre outras. Em vários casos, estes ensaios precisam ser realizados de maneira conjunta para possuir uma análise completa do comportamento do concreto, como a tensão de cisalhamento e a viscosidade plástica. A trabalhabilidade do CAA pode ser conferida por vários métodos, que atualmente são normatizados pela NBR 15823 (ABNT, 2010).

Os ensaios reológicos que podem ser empregados no CAA, bem como a relevância de cada um deles, com base em Tutikian e Dal Molin (2008) e Branco (2012), estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Ensaios reológicos no concreto e sua relevância no CAA

Ensaio	Utilização		Características analisadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Hab. pass.	Coesão
Espalhamento	☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	◎	☆☆
Espalhamento t_{500}	☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	◎	☆☆
Funil-V	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	◎	☆☆
Funil-V 5 min	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	◎	☆☆☆☆
Caixa-L	☆☆☆☆	☆☆	◎	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Caixa-U	☆☆☆☆	☆☆	◎	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Fill - box	☆☆	◎	◎	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Tubo-U	☆☆	◎	☆☆	◎	☆☆☆☆
Orimet	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Anel-J	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Cone invertido	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	◎	☆☆
Teor de ar aprisionado	☆☆☆☆	◎	◎	◎	☆☆

Fonte: Adaptado de Tutikian e Dal molin , 2008.

Observa-se que a classificação utilizada para os ensaios reológicos apresentados no Quadro 1 é a seguinte:

- ☆☆ - Pouco recomendável;
- ☆☆☆ - Recomendável;
- ☆☆☆☆ - Altamente recomendável;
- ◎ - Não relevante.

2.1.8 Métodos de dosagem

Conforme Formagini (2005) há a necessidade de manter-se a fluidez dos CAA, para que os mesmos possam ser lançados facilmente e espalhem-se sem o auxílio de vibradores. E sempre que o concreto for bombeado seu índice de abatimento deve ser alto e sua viscosidade plástica deve ser baixa, pois se não for assim poderá haver obstrução da bomba. As condições citadas, anteriormente, devem ser seguidas sem comprometer as características do concreto no estado endurecido, como resistência à compressão e à tração, como também os requisitos de durabilidade como, resistência à ataques químicos, permeabilidade e porosidade. Por meio destes parâmetros e como inserção de novos materiais, encontram-se dificuldades na dosagem de concretos diferentes do convencional quando são utilizados os métodos tradicionais que a literatura dispõe.

Existem diversos métodos de dosagem para CAA e o Quadro 2 mostra alguns desses métodos.

Quadro 2: Métodos de dosagem para CAA

Método de dosagem
Método de Okamura et al.
Método de Saak et al.
Método de Su et al.
Método de Gomes, Gettu e Agulló
Método de Tutikian
Método de Repette - Melo
Método da EFNARC
Modelo de empacotamento compressível
Peterson et al.

Fonte: Baseado nas informações de Gomes e Barros (2009) e Carvalho, 2012.

2.1.8.1 Método de Gomes, Gettú e Agulló

Dos diversos métodos de dosagem para CAA existentes, o presente trabalho empregou o método de Gomes, Gettú e Agulló, porque dos diversos métodos, este é capaz de satisfazer os objetivos supracitados desta pesquisa, e aliado a isto, para escolher o método de dosagem, avaliou-se a viabilidade de realização com os recursos disponíveis na Unipampa campus Alegrete. Este método admite que é possível obter-se um concreto otimizando-se a composição da pasta e o esqueleto

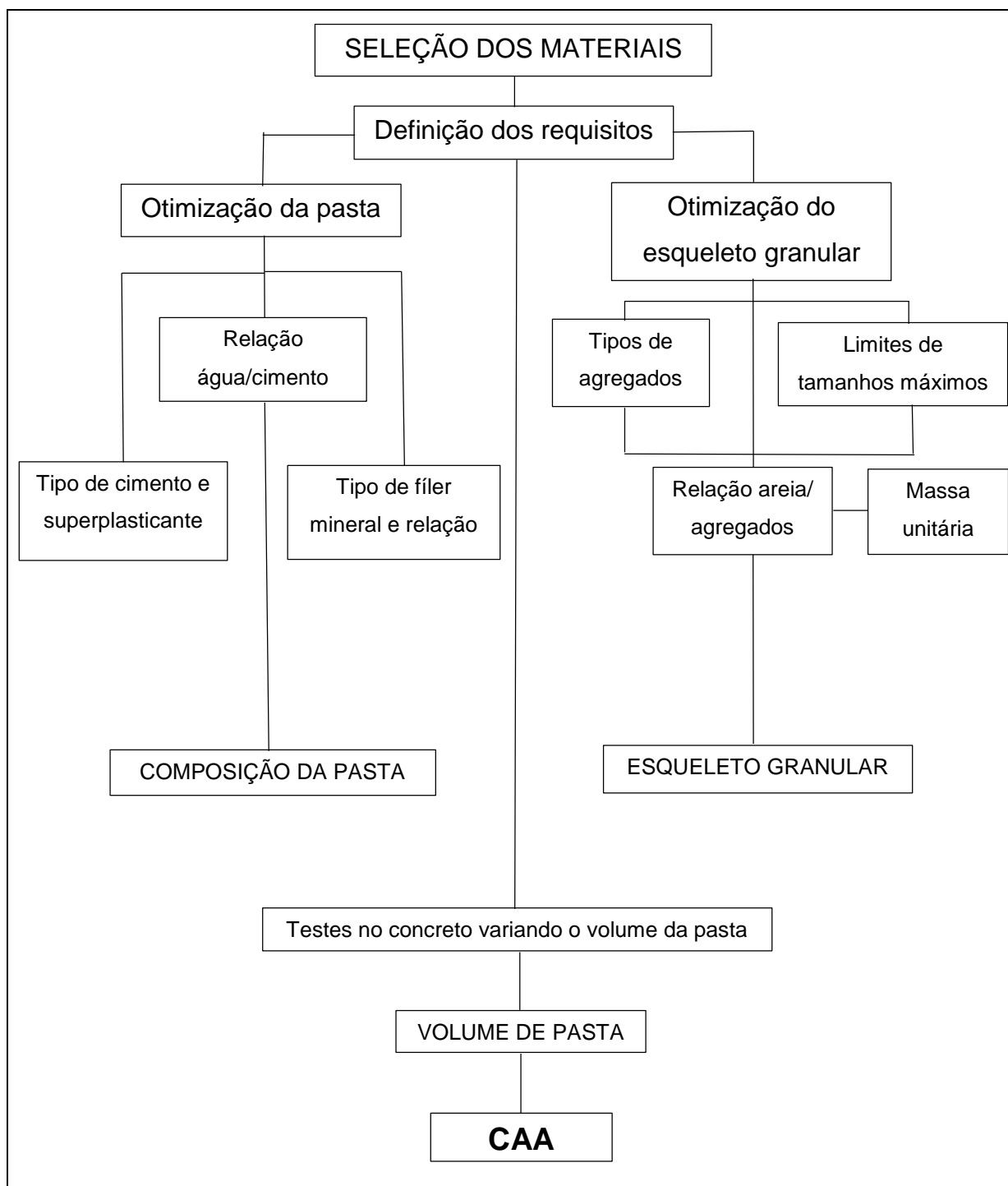
granular separadamente. Na sua composição final busca-se o conteúdo de pasta que é necessário para que o concreto seja considerado um CAA. Este método sugere que a fluidez e a viscosidade da pasta determinem como o fluxo do concreto se comportará (GOMES e BARROS,2009).

Este método possui três fases de execução, que são:

- obtenção da composição da pasta;
- determinação da proporção de mistura dos agregados;
- seleção do conteúdo de pasta.

No fluxograma da Figura 1, é possível observar o método de dosagem de Gomes, Gettú e Agulló, o qual foi elaborado seguindo o exposto por (GOMES e BARROS,2009).

Figura 1 - Descrição do método de dosagem



Fonte: Adaptado de Gomes e Barros, 2009.

2.2 Resíduos de construção e demolição (RCD)

Segundo a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que trata sobre a gestão destes resíduos, os RCD's são

materiais oriundos de reformas, demolições, construções e reparos de obras de construção civil, além dos materiais resultantes da preparação e escavação dos terrenos como, por exemplo, tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros.

Devido ao crescimento urbano, torna-se cada vez mais difícil a aquisição de agregados para a produção de concretos e argamassas. Para suprir essa deficiência, o meio técnico estuda maneiras de utilizar os resíduos gerados pela indústria da construção. A utilização dos RCD's também é uma atitude sustentável que protege o meio ambiente. Mas a técnica de substituição total ou parcial de agregados por RCD's tornou-se mais popular e por consequência alvo de pesquisas, depois do fim da Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reconstrução da Alemanha, pois desde aquela época a Europa já sofria com a falta de jazidas naturais.

De acordo com Perius (2009), na Europa, desde o começo dos anos 80, o processamento de RCD recebe mais atenção. Um dos fatores motivadores desses esforços é a incapacidade dos aterros e a diminuição do abastecimento de materiais naturais. O início desses esforços começou na Holanda, na década de 1980. No ano de 1984 um programa de pesquisa foi lançado para investigar o quanto era eficiente tratar o RCD, as propriedades do entulho processado para ser reaproveitado em obras de terraplenagem, a utilização como agregados em concreto e a compatibilidade ambiental dos processos de reciclagem.

2.2.1 Classificação dos RCD's

A Resolução nº 307 do CONAMA classifica os RCD's em quatro classes, de A até D, como é mostrado a seguir.

- Classe A – são resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados de construção como, por exemplo, tijolos, argamassa, blocos, telhas placas de revestimentos, solos oriundos de terraplenagem, entre outros;
- Classe B – são os resíduos que são empregados em outros destinos, tais como, plásticos, vidros, papelão/ papel, metais, madeiras, entre outros;
- Classe C – são os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidos métodos de aplicação e tecnologias economicamente viáveis, que possibilitem

sua reciclagem/ reocupação com, por exemplo, resíduos provenientes do gesso;

- Classe D– são os resíduos perigosos originados do processo de construção, tais com, solventes, tintas, óleos, ou resíduos contaminados provenientes de demolição ou reformas de clinicas radiológicas, indústrias, além dos produtos que contenham amianto que é altamente prejudicial a saúde, entre outros.

No entanto esta classificação simplesmente diferencia os materiais em recicláveis ou não, e se possuem a mesma finalidade ou não. Neste sentido, Maia et al. (2009) propõem uma outra classificação para os RCD's, que é mais detalhada, identificando a classe de cada resíduo, apresentando os tipos de materiais que às compõem, a destinação que deve ser dada para cada classe de resíduo e algumas observações sobre cada uma delas, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Classes de resíduos da construção civil, tipos e destinação

CLASSE	IDENTIFICAÇÃO	INTEGRANTES	DESTINAÇÃO	OBSERVAÇÃO
A	Reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	Areia, bloco de concreto celular, bloco de concreto comum, concreto armado, concreto endurecido, material de escavação aproveitável, cerâmica, louça, pedras em geral, argamassa endurecida, restos de alimentos, solos orgânicos ou vegetação, telha, bloco ou tijolo cerâmico.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a áreas de aterros de resíduos da construção civil, onde deverão ser dispostos de modo a permitir sua posterior reciclagem ou a futura utilização para outros fins, da área aterrada.	Após moagem podem ser utilizados na preparação de argamassa e concreto não estruturais.
B	Recicláveis para outras destinações.	Aço de construção; alumínio; arame; asfalto a quente; cabo de aço; fio ou cabo de cobre; madeira compensada; madeira; perfis metálicos ou metalon; carpete; PVC; plástico contaminado com argamassa; plástico (conduítes); pregos; resíduos cerâmicos; vidros; saco de papelão contaminado com cimento ou argamassa; madeira cerrada; mangote de vibrador; sobra de demolição de blocos de concreto com argamassa.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.	Após moagem podem ser destinados para confecção de base e sub-base de pavimentação, drenos, camadas drenantes, rip-rap e como material de preenchimento de valas. Madeiras podem ser encaminhadas para empresas ou entidades que a utilizem como energético ou matéria-prima.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação.	Gesso; gesso acartonado (desde que separado limpo, poderá retornar ao processo produtivo); manta asfáltica; manta de lã de vidro; laminado melamínico (fórmica); peças de fibra de nylon (piscina, banheiro).	Deverão ser armazenados, transportados e receber destinação adequada em conformidade com normas técnicas específicas.	Com relação ao gesso, cabe ao gerador buscar soluções com o fabricante.
D	Resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.	Amianto, solvente e lataria contaminada; peças em fibrocimento; efluente, lodo e licor de limpeza de fossa rolo; pincel, trincha (contaminadores); tinta à base de água, tinta à base de solvente.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e receber destinação adequada em conformidades com a legislação e as normas técnicas específicas.	

Fonte: Adaptado de Maia et al.,2009.

2.2.2 Agregados de RCD

Os agregados oriundos da reciclagem de RCD são utilizados no Brasil e no mundo, e o maior emprego destes materiais é para a pavimentação. De acordo com Tenório (2007), as diferenças entre as características dos agregados reciclados (AR) e naturais (AN) é um fator que atrapalha não só o emprego deste material como também a confiabilidade dos mesmos em aplicações mais nobres, como é o caso dos concretos estruturais. Essas diferenças são a heterogeneidade da composição (diversidade de fases constituintes) e a menor resistência mecânica.

Segundo Angulo (2005), no Brasil e em outros países, a maioria do mercado dos agregados reciclados é focada para o emprego em concretos e em argamassas. No Brasil, a reciclagem de toda fração mineral do RCD como agregados ocuparia aproximadamente 20% do mercado de produtos à base de cimento.

Desta maneira, o emprego dos AR provenientes da fração mineral do RCD, em concretos, é importante para aumentar o mercado e originar produtos mais valorizados, colaborando para o aumentar os índices de reciclagem (ANGULO, 2005).

Cabe destacar, conforme Hendriks et al. (2007), que existem diferenças entre entulho e resíduos. De acordo com os autores, o entulho, ou restos de construção, são materiais de valor negativo, matéria perdida nos processos de reutilização e reciclagem. Já resíduos são materiais que possuem a possibilidade de ser aproveitáveis para reciclagem ou reutilizados após a coleta e o tratamento, sendo capazes de entrar no ciclo novamente. No Quadro 4, os supracitados autores propõem esta diferenciação entre os resíduos.

Quadro 4 - Diferenciação entre resíduos

Resíduo de construção	Resíduo de demolição
É um material mais heterogêneo, pois possuem restos de embalagens com plásticos e papelões. Normalmente diversos contratantes participam do processo de construção, desta forma diminui-se o controle e a disciplina.	Material com maior homogeneidade. Neste caso, em geral, apenas um contratante participa do processo de demolição, o que torna possível um controle mais rigoroso.

Fonte: Adaptado de Hendriks et al., 2007.

2.2.2.1 Classificação dos agregados de RCD

A constituição dos RCD's é, em sua maior parte, de restos de argamassas, concretos e material cerâmico que, ao serem britados, têm características físicas

parecidas com às de uma areia grossa ou agregados graúdos, e podem ser empregados como agregados em diversos segmentos do setor da construção civil (CARDOSO, 2010).

No Brasil, algumas usinas que reciclam a fração mineral do RCD classifica-os em: cinza (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cimentícia) e vermelho (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha). O agregado originado do RCD mineral vermelho é utilizado em atividades de pavimentação, principalmente de bases de pavimentos. O agregado originado do RCD mineral cinza é utilizado em calçadas, em blocos de concreto e em mobiliários urbanos à base de cimento, como bancos e outros materiais (ANGULO, 2005).

2.2.2.2 Legislação e normatização para a utilização de agregados de RCD

Existem normas técnicas para o uso de agregados derivados de RCD em vários locais do planeta, como Dinamarca, Holanda, Alemanha, Inglaterra, Brasil, entre outros países. A norma brasileira é mais conservadora e só indica utilizar os agregados de RCD reciclados em concretos com resistência mecânica de até 15 MPa. Enquanto que as demais normas aceitam o emprego em concretos com resistência acima de 25 MPa. Ao contrário das outras normas, a norma holandesa especifica valores de abrasão independente da aplicação requerida. O emprego da fração miúda dos agregados de RCD reciclados está previsto na Holanda, na Alemanha e no Brasil (ANGULO, 2005).

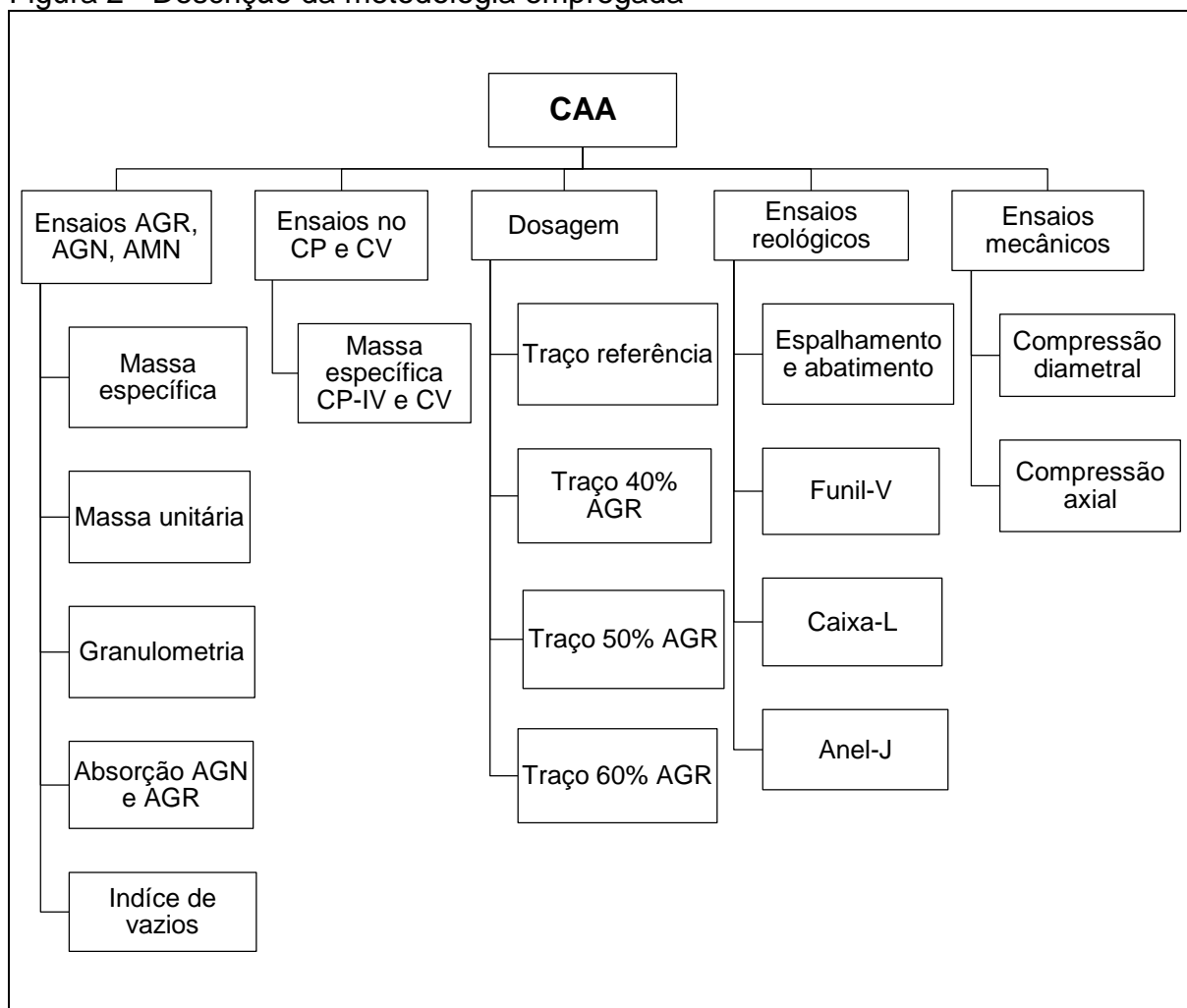
O Brasil ainda conta com a Resolução nº 307 do CONAMA, já mencionada anteriormente neste trabalho. Tal Resolução estabelece critérios de destinação, utilização e descarte do material produzido pela indústria da construção civil, ou seja, o entulho. A mesma foi criada em decorrência da crescente necessidade de resolver os problemas causados pela enorme geração de RCD e os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo descarte inadequado destes resíduos. (SILVA, 2007).

3 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a metodologia que foi empregada no trabalho. São descritos as propriedades dos materiais utilizados para a produção do CAA, bem como o método de dosagem dos concretos e caracterização no estado fresco e endurecido. Todos os ensaios foram executados de acordo com as normas técnicas que estabelecem cada procedimento.

As etapas dividem-se da seguinte maneira: caracterização física dos materiais empregados para a produção de CAA [agregados (gráudo natural (AGN), gráudo de RCD (AGR), miúdo natural (AMN))], cimento Portland (CP) e cinza volante (CV), aditivo superplastificante (SP), aditivo modificador de viscosidade (MV) e água. Esta metodologia é mostrada no organograma da Figura 2.

Figura 2 - Descrição da metodologia empregada



Fonte: Elaboração própria, 2015.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Agregados

A caracterização física dos agregados graúdos naturais (AGN), agregados graúdos reciclados (AGR) e agregados miúdos naturais (AMN) são apresentadas a seguir.

3.1.1.1 Granulometria

A composição granulométrica dos agregados utilizados para produção dos CAA foi realizada conforme o prescrito pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). Inicialmente realizou-se o ensaio de granulometria do AGN e AGR, estes materiais apresentam dimensão máxima característica de 19 mm; os AGN são resultado da britagem de rochas basálticas, proveniente do mercado regional, e de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) é caracterizada como brita 1, enquanto que o RCD foi obtido em obras da cidade de Alegrete e britado na Britagem São Miguel, localizada no interior do município de Alegrete. Para a execução desta britagem foi empregado um britador de mandíbulas, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Britador de mandíbulas



Fonte: Elaboração própria, 2015.

Por fim, realizou-se o ensaio de granulometria do AMN. Este material tem característica geológica de areia quartzosa, com dimensões entre 0,15 mm e 4,8 mm, que foi adquirida no comércio local e é proveniente do município de Rosário do Sul.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para diâmetro máximo característico de cada agregado e o módulo de finura destes materiais.

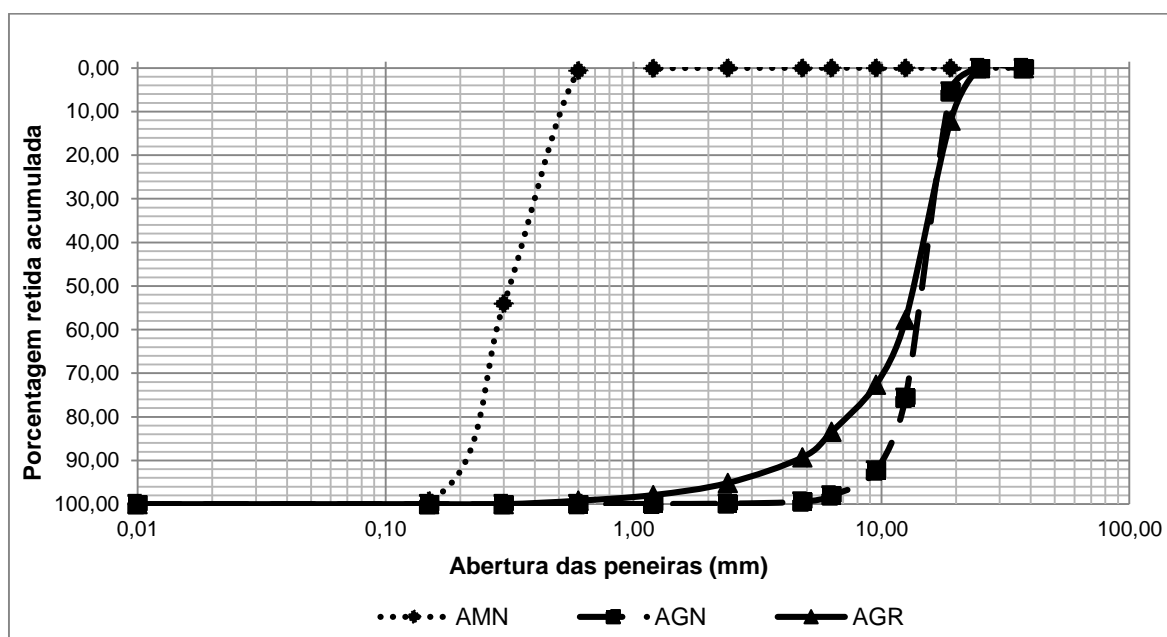
Tabela 1 – Classificação dos agregados

Agregado	D _{máx} (mm)	Módulo de finura	Classificação
AMN	1,2	2,54	Médio
AGN	19	7,97	Muito grosso
AGR	19	7,65	Muito grosso

Fonte: Fonte: Elaboração própria, 2015.

A Figura 4 mostra o gráfico com a curva granulométrica dos agregados. Nesta figura é possível observar que os agregados, AMN, AGN e AGR apresentam curvas que representam agregados com distribuição granulométrica uniforme.

Figura 4 - Curvas granulométricas dos materiais



Fonte: Elaboração própria, 2015.

3.1.1.2 Massa específica dos agregados

A massa específica do AMN foi determinada de acordo com o estabelecido pela NBR 9776 (ABNT, 1987). A massa específica média do AMN foi $d_{méd} = 2,58 \text{ g/cm}^3$.

Os agregados graúdos, tanto o AGN, quanto o AGR, tiveram suas massas específicas determinadas de acordo com o procedimento estabelecido pela NBR NM 53 (ABNT, 2003). Esta norma descreve que o material deve ser coletado e reduzido de acordo com as especificações das normas, NBR NM 26 (ABNT, 2009) e NBR NM 27 (ABNT, 2001).

A Tabela 2 apresenta os resultados com os valores médios da massa específica do AGR, do AGN e da mistura com 50%/50% dos agregados, que será denominada AG (agregado graúdo). Esta porcentagem foi determinada por meio do esqueleto granular, apresentado no item 3.1.1.5. A Tabela 2 também apresenta os resultados do ensaio de absorção de água dos AG.

Tabela 2 - Massa específica e absorção de água dos AG

Agregado	d (kg/m³)	d_s (kg/m³)	d_a (kg/m³)	A (%)
AGN	2570	2620	2680	1,51
AGR	1970	2160	2420	9,33
AG	2420	2640	3130	9,38

Fonte: Elaboração própria, 2015.

Onde:

- d = massa específica agregado graúdo seco (kg/m³);
- d_s = massa específica agregado graúdo saturado superfície seca (kg/m³);
- d_a = massa específica aparente do agregado graúdo (kg/m³);
- A = absorção de água dos agregados graúdos (%).

3.1.1.3 Massa unitária e volume de vazios dos agregados

Os ensaios de massa unitária e volume de vazios foi realizado de acordo com o Método C descrito na NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados deste ensaio nos agregados foram calculados por meio das equações que constam na NBR NM 45 (ABNT,2006) e através das Equações (1), (2) e (3) .

$$w_u = \frac{w_t}{V} \quad \dots (1)$$

$$d_{adm} = \left\{ \frac{[d_{A1} \cdot (A1/a)(\%) + d_{A2} \cdot (A2/a)(\%)]}{100} \right\} \quad \dots (2)$$

$$v = \left(\frac{d_{adm} - w_u}{d_{adm}} \right) \cdot 100 \quad \dots(3)$$

Onde:

- V = volume do recipiente (m^3);
- w_u = peso unitário da mistura (kg/m^3);
- w_t = massa total da mistura (kg);
- d_{adm} = densidade da mistura;
- d_{A1} = massa específica do agregado 1 (no esqueleto mostrado na Figura 5 é o AGN e na Figura 6 é o AMN);
- d_{A2} = massa específica do agregado 2 (no esqueleto mostrado na Figura 5 é o AGR e na Figura 6 é o AG);
- $A1/a$ = porcentagem do agregado 1 (no esqueleto mostrado na Figura 5 é o AGN e na Figura 6 é o AMN);
- $A2/a$ = porcentagem do agregado 2 (no esqueleto mostrado na Figura 5 é o AGR e na Figura 6 é o AG);
- v = volume de vazios (%).

A Tabela 3 apresenta os resultados da massa unitária e volume de vazios dos materiais.

Tabela 3 – Massa unitária AGN, AGR e AMN

Agregado	MU (kg/m^3)	v (%)
AMN	1526,46	40,84
AGN	1425,93	44,52
AGR	1105,82	43,87

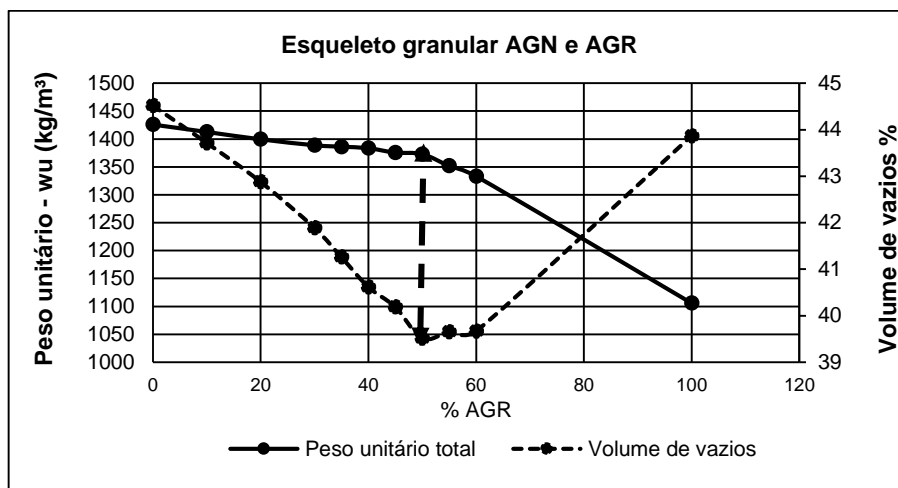
Fonte – Elaboração própria, 2015.

3.1.1.4 Esqueleto granular

A composição dos dois esqueletos granulares, um para determinar a melhor porcentagem de substituição de AGN por AGR e um outro para definir a quantidade AMN e AG, foi realizada neste trabalho para desenvolver os traços dos CAA. Para compor cada esqueleto granular é necessário determinar o índice de vazios e o peso unitário de diferentes misturas. O índice de vazios é determinado conforme prescrição da NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados de índice de vazios e peso total foram

obtidos por meio das Equações (1), (2) e (3). A Figura 5 mostra o esqueleto granular da mistura entre AGN e AGR.

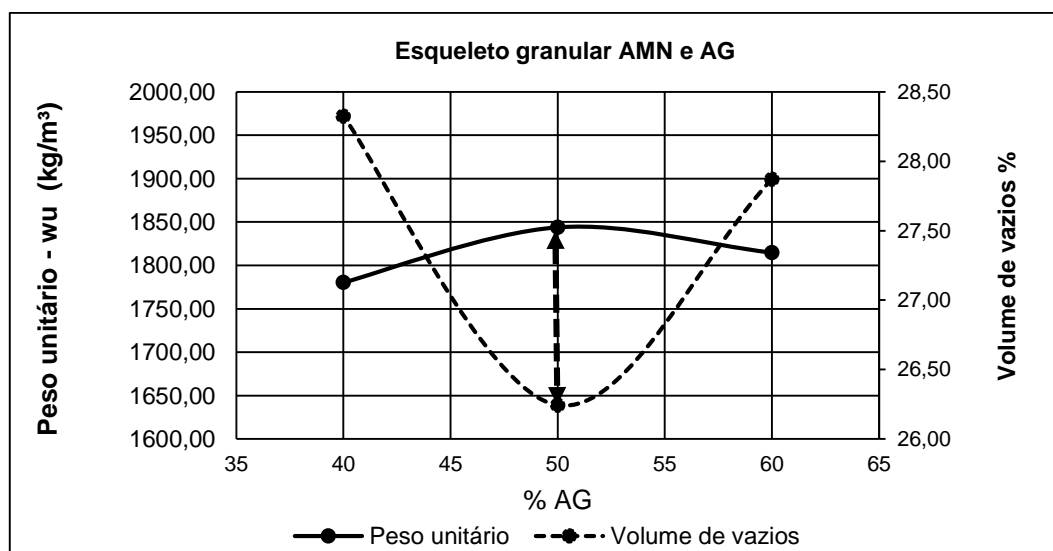
Figura 5 – Gráfico peso unitário x volume de vazios – AGN e AGR



Fonte – Elaboração própria, 2015.

A partir da análise do gráfico mostrado na Figura 5 pode ser observado que a melhor composição foi a mistura com 50% de AGN e 50% AGR, pois apresentou o menor volume de vazios. Após esta determinação, repetiu-se o procedimento para obter a porcentagem de AMN e AG. A Figura 6 mostra o gráfico resultante dos dados obtidos com as misturas para as diferentes porcentagens de AG e AMN.

Figura 6 - Gráfico peso unitário x volume de vazios – AMN e AG



Fonte – Elaboração própria, 2015.

A partir da análise do gráfico mostrado na Figura 6 determinou-se que a melhor composição foi a mistura com 50% de AMN e 50% AG, pois essa composição apresentou maior peso unitário e o menor volume de vazios.

3.1.2 Caracterização do Cimento Potland (CP) e Cinza volante (CV)

Neste item serão apresentados os resultados obtidos da caracterização do CP e da CV utilizados para produção dos CAA. O cimento utilizado foi o CP – IV da marca Votorantin e a CV é oriunda da Usina Termoelétrica de Candiota, localizada no Rio Grande do Sul. O ensaio realizado nestes materiais foi o de massa específica, especificado pela NBR NM 23 (ABNT,2001). A massa específica do material é dada pela média aritmética de duas ou mais determinações do experimento. O CP resultou em uma massa específica média ($d_{A,med}$) de 2810 kg/m³ e a CV resultou em uma massa específica média ($d_{A,med}$) de 2000 kg/m³.

3.1.3 Aditivos

Os CAA produzidos neste trabalho tiveram adição do aditivo SP Glenium 51 e do aditivo MV Rheomac UW 410, ambos fabricados pela empresa BASF/SA.

No aditivo SP determinou-se o teor de sólidos conforme a NBR 10908 (ABNT, 2008). O aditivo MV é em pó, assim esta determinação não foi necessária. A porcentagem de sólidos do SP (T_{SP}) foi de 26,12 %.

3.1.4 Água

A água utilizada na produção dos CAA foi a água fornecida pelo sistema de abastecimento público do município de Alegrete – RS.

3.2 Dosagem do CAA – Método de Gomes, Gettu e Agulló

Como mencionado no item 2.1.8.1 o método de dosagem para CAA empregado nesta pesquisa foi o Método de Gomes, Gettu e Agulló. Neste item serão

apresentados os resultados obtidos em cada uma das etapas que compõem o método.

3.2.1 Determinação do volume de pasta (V_p)

O V_p é determinado a partir de um consumo inicial pré-estabelecido de cimento, que foi de 300 kg/m³. O V_p resultante foi de 0,31 m³ e foi calculado a partir da Equação 4.

$$V_p = \frac{C}{d_c} + \frac{P_{H_2O}}{d_{H_2O}} + \frac{P_f}{d_f} + \frac{P_{CV}}{d_{CV}} + \frac{P_{spl}}{d_{sp}} - \frac{P_{H_2O_{sp}}}{d_{H_2O}} \quad \dots (4)$$

Onde:

- V_p = volume de pasta (m³);
- C = consumo inicial de cimento (kg/m³);
- d_{CP} = massa específica do CP (kg/m³);
- d_{H₂O} = massa específica da água (kg/m³);
- d_{CV} = massa específica da CV (kg/m³);
- d_{SP} = massa específica do SP (kg/m³);
- d_f = massa específica do fíler (kg/m³);
- P_{H₂O} = massa de água (kg);
- P_f = massa de fíler (kg);
- P_{CV} = massa de CV (kg);
- P_{spl} = massa de SP líquido (kg);
- P_{H₂O_{sp}} = massa de água no SP (kg).

3.2.2 Composição dos traços dos e determinação do consumo real de cimento

Após a determinação do V_p o passo seguinte foi a determinação do consumo real de cimento (C_R), que foi obtido por meio da Equação (5). Esta fórmula foi empregada para obter o C_R de duas misturas de CAA. Estas misturas são: CAA_{REF} (concreto autoadensável referência) e CAA_{50%} (concreto autoadensável com 50% de AGR) e CAA_{60%} (concreto autoadensável com 60% de AGR).

$$C_R = \left\{ \frac{V_p}{\frac{1}{d_{CP}} + \frac{(a/c)}{d_{H2O}} + \frac{(f/c)}{d_f} + \frac{(CV/c)}{d_{CV}} + \frac{\left(\frac{sp \cdot 100}{c \cdot T_{sp}}\right) \left[\frac{sp \cdot (100-1)}{c \cdot T_{sp}}\right]}{d_{sp}} + \frac{1}{d_{H2O}}} \right\} \quad \dots (5)$$

Onde:

- C_R = consumo real de cimento (kg/m^3);
- (a/c) = relação água/cimento;
- (f/c) = relação fíler/cimento;
- (CV/a) = relação cinza volante/cimento;
- (sp/c) = relação superplastificante/cimento.

O primeiro traço determinado foi o CAA_{REF} . O primeiro passo foi elaborar uma planilha no software Excel onde estavam contidas todas as variáveis da Equação (5). A partir daí fixou-se a relação CV/c em 20%. Fixando esta relação restaram somente duas variáveis para determinação do C_R , a relação a/c e a relação sp/c . Estes valores foram determinados em laboratório. Para compor e determinar o traço referência foi realizado somente o ensaio de espalhamento, para verificar se os CAA's possuíam um espalhamento dentro da faixa necessária para ser classificado como CAA, entre 600 mm e 850 mm. Após várias tentativas, obteve-se o traço do CAA_{REF} com uma relação a/c de 0,585 (constante em todos os traços) e uma relação sp/c de 0,52%. O traço final do CAA_{REF} é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Traço CAA_{REF}

Material	Quantidade de materiais	
	Em volume	Em porcentagem
C_R	291,08 kg/m^3	10,36 %
CV	60,00 kg/m^3	3,00 %
AGN	886,65 kg/m^3	34,50 %
AMN	890,10 kg/m^3	34,50 %
SP	6,00 kg/m^3	0,52 %
Água	171,07 kg/m^3	17,11 %

Fonte – Elaboração própria, 2015.

Na sequência determinou-se o traço $CAA_{50\%}$, ou seja, com 50% de AGR, porcentagem que apresentou o menor índice de vazios. O traço teve o AGN

substituído por AG (50% AGN + 50% AGR), esta substituição causou alteração nos parâmetros que dependem da massa específica dos materiais e também houve variação na quantidade de aditivo SP. O traço do CAA_{50%} é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Traço CAA_{50%}

Material	Quantidade de materiais	
	Em volume	Em porcentagem
C _R	288,10 kg/m ³	10,25 %
CV	60,00 kg/m ³	3,00 %
AGR	417,45 kg/m ³	17,25 %
AGN	443,33 kg/m ³	17,25 %
AMN	915,90 kg/m ³	35,50 %
SP	10,32 kg/m ³	0,90 %
Água	167,88 kg/m ³	16,79 %

Fonte – Elaboração própria, 2015.

A obtenção do traço apresentado nas Tabela 5 foi trabalhosa, uma vez que houve uma brusca variação de temperatura e também pela alta absorção de água do AGR. Assim a obtenção do CAA_{50%}, só foi possível com a adição a mais da porcentagem de água absorvida pelo AG que foi de 9,38% para a mistura de 50% AGR + 50%AGN.

Além dos dois traços CAA_{REF} e CAA_{50%} foram produzidos outros dois traços, tomando como base a mistura CAA_{50%}. Nesses dois traços foi variada a quantidade de AGR em composições de 60% AGN/ 40% AGR e 40% AGN/ 60% AGR, os quais resultaram nas misturas CAA_{40%} e CAA_{60%}, respectivamente. Nessas misturas a correção da água de 9,38% foi mantida, pois estas foram produzidas com o intuito de verificar as alterações provocadas no CAA pela substituição parcial de AGN por AGR. Os CAA_{40%} e CAA_{60%} tiveram seus traços desenvolvidos para servirem de comparação aos demais, desta forma a única variação nestes traços foi a quantidade de AGR. Os traços destas misturas são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Traços comparativos

Material	Traço CAA _{40%}		Traço CAA _{60%}	
	Quantidade de materiais		Quantidade de materiais	
	Em volume	Em porcentagem	Em volume	Em porcentagem
C _R	288,10 kg/m ³	10,25 %	288,10 kg/m ³	10,25 %
CV	60,00 kg/m ³	3,00 %	60,00 kg/m ³	3,00 %
AGR	333,96 kg/m ³	13,80 %	500,94 kg/m ³	20,70 %
AGN	531,99 kg/m ³	20,70 %	354,66 kg/m ³	13,80 %
AMN	890,1 kg/m ³	34,50 %	890,1 kg/m ³	34,50 %
SP	9,15 kg/m ³	0,90 %	10,32 kg/m ³	0,90 %
Água	168,74 kg/m ³	16,79 %	167,88 kg/m ³	16,79 %

Fonte – Elaboração própria, 2015.

3.2.3 Determinação das propriedades reológicas

Os ensaios apresentados neste item são os de caracterização dos CAA no estado fresco. Todas as misturas produzidas tiveram adição de 0,02 % de aditivo MV, esta porcentagem é em relação a massa de cimento das misturas. Serão apresentadas as características das misturas quanto à fluidez, viscosidade e habilidade passante.

3.2.3.1 Ensaios de abatimento e espalhamento

Os ensaios de abatimento e espalhamento foram executados conforme prescrito na NBR 15823-2 (ABNT, 2010). Este são realizados utilizando o cone de Abrams. A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) classifica o espalhamento conforme a Tabela 7. Este ensaio também possibilita classificar o concreto segundo a viscosidade plástica aparente da mistura (VS), que é determinada pelo tempo que o concreto leva para atingir a marca de 500 mm da placa de ensaio (t_{500}). As classes de viscosidade plástica aparente são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 7 – Classes de espalhamento

Classe	Espalhamento (mm)
SF-1	550 a 650
SF-2	660 a 750
SF-3	760 a 850

Fonte – Adaptado da NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

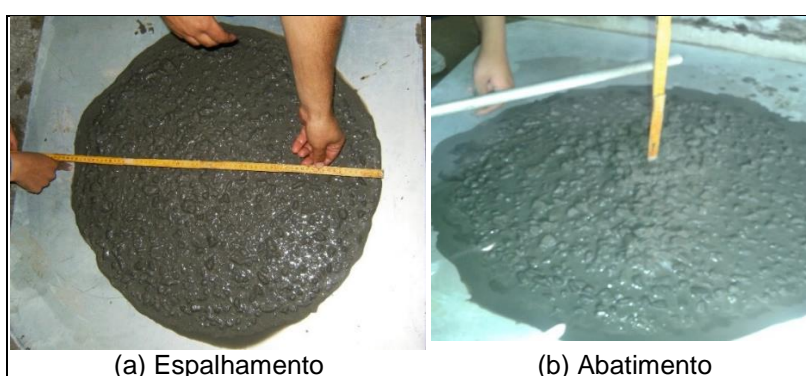
Tabela 8 – Classes de viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre)

Classe	t_{500} (segundos)
VS-1	≤ 2
VS-2	> 2

Fonte – Adaptado da NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

O procedimento consiste em medir o espalhamento (E) máximo do concreto em duas direções, o espalhamento final será a média dos dois valores. A Figura 7 mostra a medida, em (a) do espalhamento (E) e em (b) do abatimento (A).

Figura 7 – Medida do (a) espalhamento e do (b) abatimento dos CAA



Fonte – Elaboração própria, 2015.

Ainda é possível estimar a capacidade de fluidez do concreto com o ensaio do cone invertido, onde o cone de Abrams é posicionado invertido. O cone invertido é preenchido com o concreto e em seguida o cone é puxado no sentido vertical para que o concreto espalhe-se, a etapa seguinte é medida do espalhamento (E_{CI}) da mistura. A Figura 8 mostra um ensaio do cone invertido, sendo em (a) é ilustrado o início do ensaio e em (b) é ilustrada a medida do espalhamento.

Figura 8 – Ensaio de espalhamento com o cone invertido



Fonte – Elaboração própria, 2015.

3.2.3.2 Funil-V

Este ensaio é realizado com a finalidade de estimar a viscosidade e a capacidade de fluidez de CAA. O ensaio foi executado conforme a prescrição da NBR 15823-5 (ABNT, 2010). Para execução do teste é utilizando um funil com a forma de um “V”. Segundo Marangon (2010) este ensaio possibilita a avaliação da facilidade com a qual o CAA flui, se o tempo de escoamento for pequeno, quer dizer que o concreto possui alta fluidez ao contrário indica que o concreto tem pouca fluidez. Se a abertura inferior do funil entupir indica dificuldades de lançamento e de adensamento do concreto. A Figura 9 mostra a execução do ensaio, sendo que em (a) está a imagem do início do ensaio, em (b) o funil vazio.

Figura 9 – Ensaio com o Funil-V



Denomina-se o tempo de fluxo de escoamento do ensaio do Funil-V de T_v , sendo que para o tempo deve variar de 8 à 25 segundos. Depois de obter o tempo de fluxo é possível classificar o concreto quanto a classe de viscosidade plástica aparente pelo ensaio do Funil-V (VF), conforme prescrito pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010). A Tabela 9 apresenta esta classificação feita pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

Tabela 9 – Classes de viscosidade plástica aparente pelo Funil-V

Casse	T _v (segundos)
VF-1	< 9
VF-2	9 à 25

Fonte – Adaptado da NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

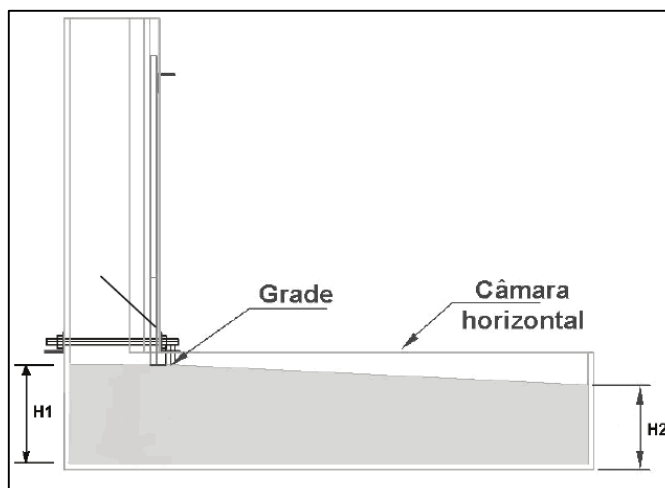
3.2.3.3 Caixa L

O ensaio é realizado conforme a prescrição da NBR 15823 -4 (ABNT, 2010). O objetivo deste ensaio é avaliar a habilidade passante (HP) do CAA, sua fluidez, em uma situação que simula a realidade, pois a Caixa -L possui barras de aço que servem para simular as armaduras de uma estrutura de concreto armado. As dimensões da Caixa-L utilizada são as estabelecidas pela norma. A Equação 6 foi utilizada para calcular a HP das misturas.

$$HP = \frac{H2}{H1} \quad \dots (6)$$

A Figura 10 indica a localização de H1 e H2.

Figura 10 – Indicação das alturas da Caixa-L



Fonte – NBR 15823-4 (ABNT, 2010).

A partir da determinação da relação H1/H2 a NBR 15823-1 (ABNT, 2010) classifica de formas diferentes a habilidade passante do concreto. A Tabela 10 apresenta esta classificação.

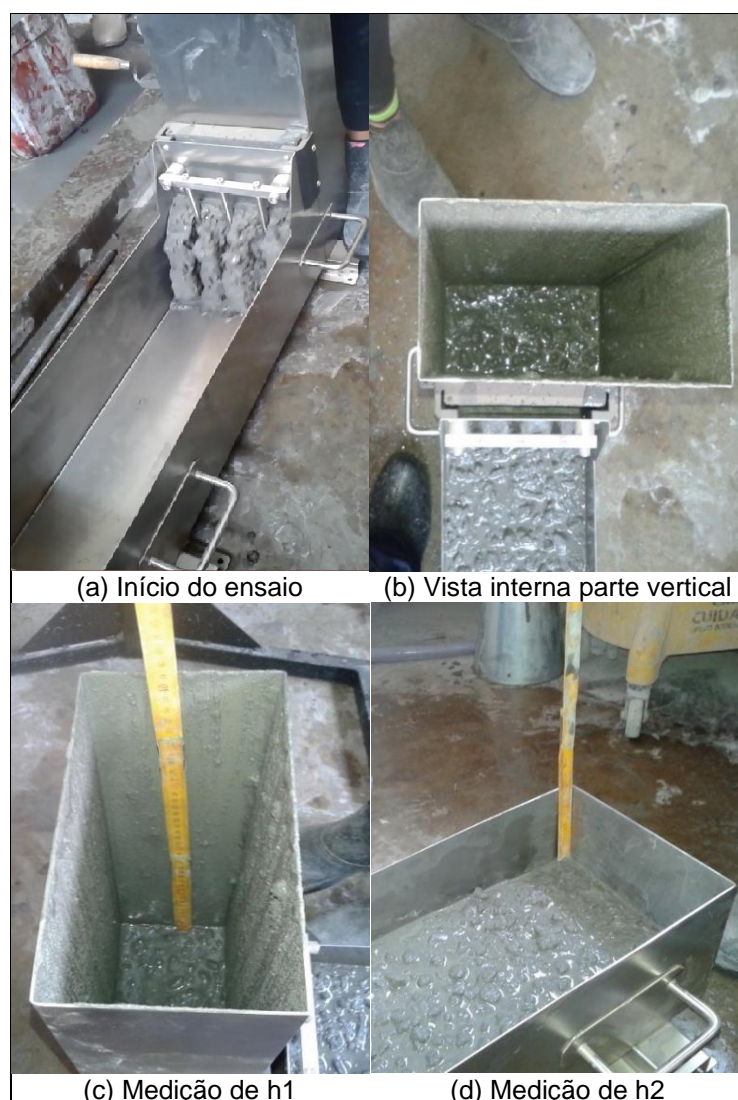
Tabela 10 – Classes de habilidade passante pela Caixa-L (sob fluxo confinado)

Classe	H1/H2
PL-1	≥ 80 (com duas barras de aço)
PL-2	≥ 80 (com três barras de aço)

Fonte – Adaptado da NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

A Figura 11 mostra a execução de um ensaio, sendo em (a) está a imagem do início do ensaio, em (b) a vista interna da parte vertical da caixa, em (c) medição de h_1 e em (d) medição de h_2 . As imagens (c) e (d) mostram a medida das alturas h_1 e h_2 , que foram subtraídas, respectivamente, da altura da câmara vertical da Caixa-L e da altura da câmara horizontal da Caixa-L, para obter os valores de H1 e H2.

Figura 11 – Ensaio com a Caixa-L



Fonte – Elaboração própria, 2015.

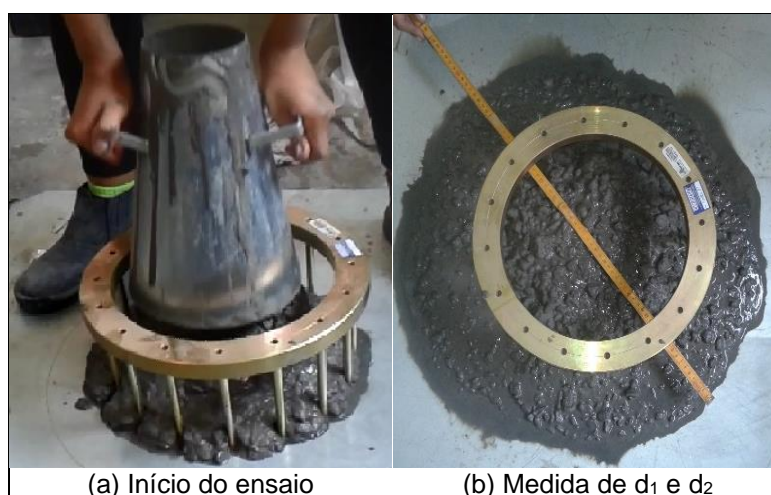
3.2.3.4 Anel-J

O ensaio do Anel-J é mais um meio de avaliar a habilidade passante que o CAA possui de fluir entre as armaduras. Os autores Groth e Nemegeer (1999), perceberam que o ensaio de espalhamento não permitia medir diretamente a habilidade passante do CAA, assim combinaram o ensaio de espalhamento com um anel, chamado Anel-J, para, desta forma, analisar o risco de bloqueio do concreto.

O ensaio é realizado conforme prescrito pela NBR 15823-3 (ABNT, 2010). O procedimento utiliza as partes usadas no o ensaio de espalhamento somados a um Anel-J. O processo do ensaio é semelhante ao do ensaio de espalhamento, a diferença está no acréscimo do anel sobre a placa de ensaio, ou seja, o cone de Abrams ficará no centro do anel. Após a retirada do cone espera-se aproximadamente 1 minuto, para o CAA espalhar-se e mede-se o diâmetro do espalhamento em duas direções perpendiculares (d_{J1} e d_{J2}) e o diâmetro final (d_F) é a média aritméticas destes dois diâmetros. O Anel-J utilizado possui as dimensões estabelecidas pela NBR 15823-3 (ABNT,2010).

A Figura 12 mostra a execução de um ensaio, em (a) está a imagem do início do ensaio e em (b) a medida dos diâmetros d_{J1} e d_{J2} . O processo foi o mesmo para todas as misturas.

Figura 12 - Ensaio de espalhamento com o Anel-J



(a) Início do ensaio

(b) Medida de d_1 e d_2

Fonte – Elaboração própria, 2015

O resultado de d_F será diminuído do valor encontrado para o espalhamento (E) sem o Anel-J, esta diferença (Δ) serve para classificar o concreto quanto a habilidade passante pelo Anel-J (PJ), conforme especificação da NBR15823-1 (ABNT,2010). Estas classes são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Classes de habilidade passante pelo Anel-J (sob fluxo livre)

Classe	Δ (mm)
PJ-1	0 à 25 com 16 barras de aço
PJ-2	25 à 50 com 16 barras de aço

Fonte – Adaptado da NBR 15823-1, (ABNT, 2010).

3.2.4 Ensaio mecânicos

Para caracterizar os concretos no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial (σ_c) e resistência à tração por compressão diametral (σ_t). Os experimentos foram executados conforme a prescrição da NBR 5739 (ABNT, 2007) e da NBR 7222 (ABNT, 2011). Para realizar estes ensaios foram moldados três corpos de prova (CP's), para cada ensaio, estes são cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. As rupturas realizaram-se as 7 e aos 28 dias de cura para cada mistura, porque, devido ao curto espaço de tempo disponível, para realização dos ensaios, não foi possível ensaiar os CP's com idades mais avançadas. Antes de cada ruptura os CP's ensaiados à compressão axial tiveram suas faces retificadas.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem o objetivo de avaliar os resultados obtidos em laboratório para cada uma das misturas produzidas e compará-las. Além disso, serão discutidos os fatores que, possivelmente, causaram tais resultados.

4.1 Propriedades dos CAA no estado fresco

4.1.1 Ensaios de abatimento e espalhamento

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios de abatimento e espalhamento e classificado conforme as Tabelas 7 e 8 do item 3.2.3.1.

Tabela 12 – Valores médios de abatimento e espalhamento dos CAA

Mistura	A (mm)	E (mm)	Classe	t ₅₀₀ (s)	Classe	E _{Cl} (mm)
CAA _{REF}	270	600	SF-1	4,87	VS-2	585
CAA _{40%}	270	650	SF-1	8,00	VS-2	655
CAA _{50%}	270	655	SF-1	11,00	VS-2	630
CAA _{60%}	250	600	SF-1	11,00	VS-2	555

Fonte – Elaboração própria, 2015.

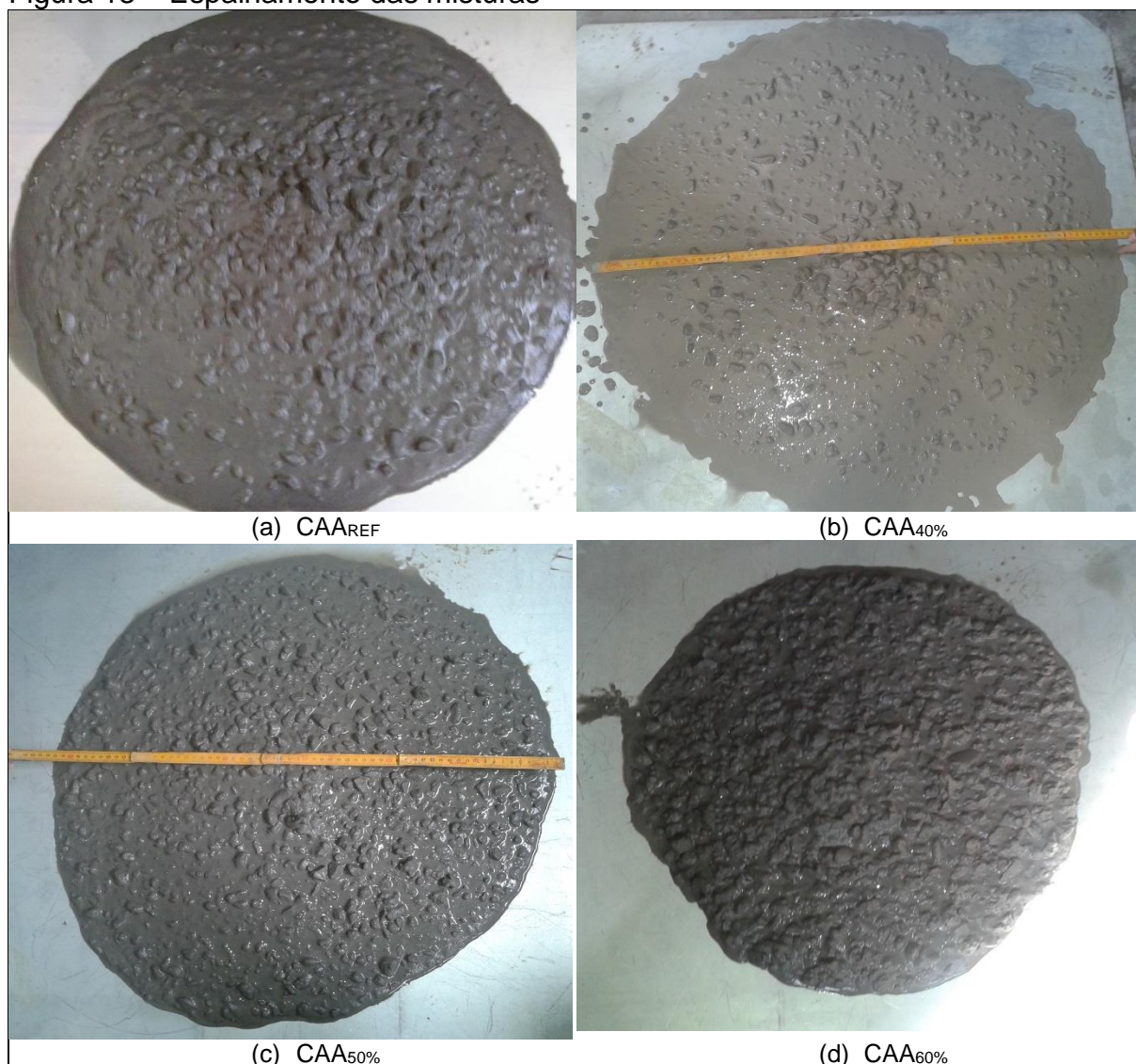
A partir dos resultados apresentados na Tabela 12 verifica-se que: todas as misturas apresentam características de CAA, com $E \geq 600$ mm; todas as misturas caracterizaram-se CAA com $A \leq 300$ mm. Todas as misturas enquadraram-se na classe de espalhamento SF-1; e a classe de viscosidade plástica aparente sob fluxo livre VS-2 de acordo com a NBR15823-1 (ABNT, 2010), respectivamente. A mistura CAA_{40%} comparado a mistura CAA_{50%} apresentou pequena diminuição de espalhamento.

Todas as misturas com AGR possuem 0,9 % de SP, enquanto que a mistura CAA_{REF} possui 0,52% de SP, ou seja, o acréscimo de SP, quando utilizado AGR, foi de 0,38 %, para manter as características de um CAA. Esse acréscimo de SP desfavorece as misturas com AGR considerando que os aditivos apresentam custo elevado, e os AGR apresentam baixo custo. Mas ainda assim, somente pela análise do espalhamento, pode-se considerar que o custo benefício ainda é viável, pois a

porção de AGR utilizada para produção de CAA é bem maior do que a quantidade de aditivo.

A Figura 13 mostra o espalhamento de cada uma das misturas, sendo em (a) CAA_{REF}, em (b) CAA_{40%}, em (c) CAA_{50%} e em (d) CAA_{60%}.

Figura 13 – Espalhamento das misturas



Fonte – Elaboração própria, 2015.

É possível verificar que o CAA_{40%}, como esperado, apresentou exsudação e segregação, conforme [ver Figura 13 (b)], uma vez que foi mantida a quantidade de água de absorção utilizada na mistura CAA_{50%}.

A Figura 13 (c) mostra que a mistura CAA_{60%} também apresentou um resultado de espalhamento esperado, ou seja, menor que a mistura CAA_{50%}, pois a quantidade

de água de absorção foi a mesma adicionada à mistura CAA_{50%} e a substituição de AGN por AGR foi maior. Além disso a análise visual reafirma o resultado do esqueleto granular da Figura 5, pois a mistura CAA_{50%}, com AGR, é a que apresentou menor segregação dos materiais e exsudação. Na mistura CAA_{60%} o espalhamento poderia ter sido melhor, caso fosse corrigida a quantidade de água da absorção do AGR.

Nos ensaios com o cone invertido, as misturas apresentam boa fluidez. No entanto as misturas CAA_{REF} e CAA_{60%} não apresentaram espalhamento maior ou igual a 600 mm, sendo este o valor ideal.

4.1.2 Fluidez no Funil-V

A Tabela 13 apresenta os resultados de T_v e a classificação quanto a viscosidade de escoamento do ensaio do Funil-V, T_v , e a classe de viscosidade plástica aparente, VF, conforme a Tabela 9.

Tabela 13 – Tempo de fluxo e classificação dos CAA no ensaio do Funil-V

Mistura	T_v (s)	VF
CAA _{REF}	12	VF-2
CAA ₄₀	36	Não-adensável
CAA ₅₀	25	VF-2
CAA ₆₀	Bloqueado	Não-adensável

Fonte – Elaboração própria, 2015.

O CAA_{REF} e o CAA_{50%} foram classificados quanto a classe de viscosidade plástica aparente (VF) através do ensaio de Funil-V como CAA, com tempos de fluxo (T_v) entre 8 e 25 segundos. As duas misturas apresentaram boa capacidade de fluidez, no entanto a presença do AGR diminui a fluidez do CAA, uma vez que, o tempo de fluxo mais que dobrou em relação à mistura CAA_{50%}.

O CAA_{40%} e o CAA_{60%} não foram classificados como CAA quanto a viscosidade plástica aparente por meio do ensaio do Funil-V, pois, a mistura CAA_{40%} apresentou tempo de escoamento 44% maior que o T_v o limite estabelecido pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010) para se classificado como CAA. Conforme observado na Figura 14 (b) a mistura CAA_{40%} apresentou segregação, o que pode ter provocado o aumento do tempo de fluidez no ensaio do Funil-V. Quanto ao CAA_{60%} a mistura não fluiu, então o ensaio foi interrompido. O material foi retirado do funil com auxílio de um soquete e

água, porque a mistura CAA_{60%} apresentou alta viscosidade. Mais uma vez, deve ser dada atenção para a correção da água de absorção da mistura CAA_{60%}, uma vez que essa correção poderia ter proporcionado a fluidez do concreto no ensaio.

4.1.3 Escoamento na Caixa-L

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos, conforme descrito no ensaio usando a Caixa-L, onde obteve-se a relação H2/H1. Estes resultados foram classificados quanto a habilidade passante conforme a Tabela 10.

Tabela 14 – Habilidade passante e classificação dos CAA no ensaio da Caixa-L

Mistura	H2/H1	Classe
CAA _{REF}	0,87	PL-2
CAA _{40%}	Bloqueada	Não-adensável
CAA _{50%}	0,26	Não-adensável
CAA _{60%}	Bloqueada	Não-adensável

Fonte – Elaboração própria, 2015.

O resultado da relação H2/H1 foi maior ou igual a 0,80 para a mistura CAA_{REF}, desta forma foi possível classificá-la como CAA quanto a habilidade passante pelo ensaio da Caixa-L com a configuração de três barras de anteparo. As misturas CAA_{40%}, CAA_{50%} e a CAA_{60%} os resultados não as classificam como CAA para os critérios estabelecidos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010). As misturas CAA_{40%} e CAA_{60%} foram bloqueados pelas barras de aço, e a mistura CAA_{50%} fluiu, mas apresentou resultado inferior a 0,8 para a relação H2/H1, assim não caracterizou-se como CAA. Sugere-se que o bloqueio ocasionado na mistura CAA_{40%} foi devido a segregação. Já para a mistura CAA_{60%} a mistura não fluiu, uma vez que a correção de água de absorção do AGR, parece ser necessária.

4.1.4 Escoamento pelo Anel-J

A Tabela 15 apresenta os resultados de d_F , obtidos por meio do escoamento pelo Anel-J e a diferença (Δ) entre os d_F e os espalhamentos (E) e a classe de habilidade passante pelo Anel-J (PJ), conforme apresentado na Tabela 11.

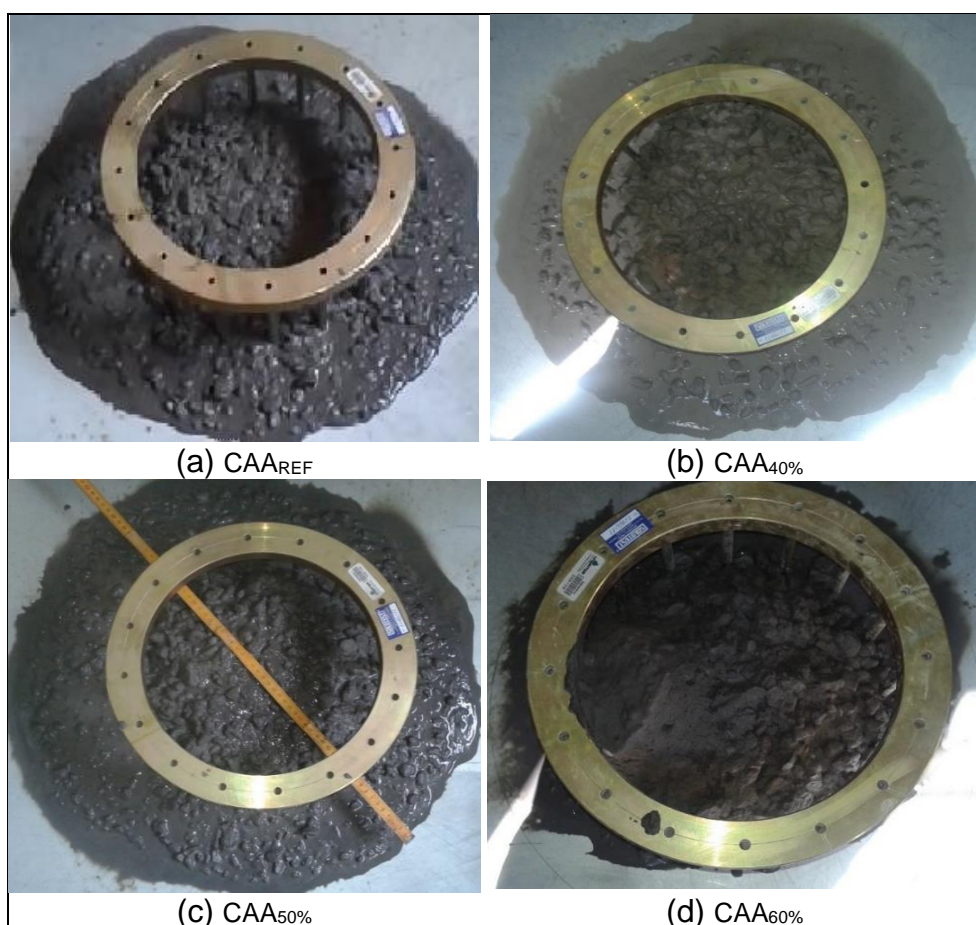
Tabela 15 – Resultados de d_F e classificação quanto a habilidade passante pelo Anel-J

Mistura	d_F (mm)	E (mm)	Δ (mm)	Classe
CAA _{REF}	580	600	20	PJ-1
CAA _{40%}	620	650	30	PJ-2
CAA _{50%}	615	655	35	PJ-2
CAA _{60%}	360	600	240	Não-adensável

Fonte – Elaboração própria, 2015.

Neste ensaio as misturas CAA_{REF}, CAA_{40%} e CAA_{50%} apresentaram resultados que as classificam como CAA. Somente a mistura CAA_{60%} apresentou um resultado para Δ superior à 50 mm, máximo valor estabelecido pela NBR 15823-1, (ABNT, 2010). A diferença entre o espalhamento com e sem o Anel-J foi crescente em todos os CAA. A Figura 14 mostra o espalhamento com o Anel-J de cada mistura, sendo em (a) CAA_{REF}, em (b) CAA_{40%}, em (c) CAA_{50%} e em (d) CAA_{60%}.

Figura 14 - Espalhamento com o Anel-J



Fonte – Elaboração própria, 2015.

É possível verificar, nas imagens (a) e (c) da Figura 14, que o CAA_{REF} e o CAA_{50%} apresentaram bom comportamento. Na imagem (b) observa-se segregação e em (d) mostra que o concreto bloqueou conforme no ensaio da Caixa-L. Ainda verifica-se, nas imagens (b) e (d), respectivamente, que as misturas apresentaram excesso de água e alta viscosidade, fatores que, talvez, seriam evitados se a quantidade de água fosse correspondente a proporção de absorção de AGR adicionados.

4.1.5 Resumo dos ensaios reológicos

O Quadro 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos concretos em seu estado fresco.

Quadro 5 – Resultados ensaios reológicos

Ensaio	Resultado
Espalhamento e abatimento	Todas as misturas apresentaram características de CAA.
Funil-V	CAA _{REF} – caracteriza-se como CAA
	CAA _{40%} - não caracteriza-se como CAA
	CAA _{50%} - caracteriza-se como CAA
	CAA _{60%} - não caracteriza-se como CAA
Caixa-L	CAA _{REF} - caracteriza-se como CAA
	CAA _{40%} - não caracteriza-se como CAA
	CAA _{50%} - não caracteriza-se como CAA
	CAA _{60%} - não caracteriza-se como CAA
Anel-J	CAA _{REF} - caracteriza-se como CAA
	CAA _{40%} - caracteriza-se como CAA
	CAA _{50%} - caracteriza-se como CAA
	CAA _{60%} - não caracteriza-se como CAA

Fonte – Elaboração própria, 2015

4.2 Propriedades dos CAA no estado endurecido

As Tabelas 16 e 17 apresentam os resultados médios das resistências à compressão axial (σ_c) e à tração por compressão diametral (σ_t), o desvio padrão (DV) e o coeficiente de variação (cv) de cada mistura de CAA estudada.

Tabela 16 – Valores de σ_c , DV e cv

σ_c (MPa)								
	CAA _{REF}		CAA _{40%}		CAA _{50%}		CAA _{60%}	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
MÉD	5,06	12,29	8,79	16,74	5,74	13,10	6,07	12,78
DV	0,43	0,40	0,13	0,54	0,32	0,92	0,22	0,52
cv	8,50	3,29	1,42	3,21	5,57	7,04	3,56	4,05

Fonte – Elaboração própria, 2015

Tabela 17 – Valores de σ_t , DV e cv

σ_t (MPa)								
	CAA _{REF}		CAA _{40%}		CAA _{50%}		CAA _{60%}	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
MÉD	0,87	1,66	1,07	2,05	0,80	1,83	0,86	1,90
DV	0,06	0,05	0,03	0,16	0,01	0,13	0,05	0,07
cv	6,93	3,10	2,47	7,67	1,22	7,53	6,00	3,50

Fonte – Elaboração própria, 2015

A partir dos resultados apresentados, verifica-se que a mistura CAA_{REF} resultou em valores de resistências à compressão e a tração por compressão diametral baixos, muito menores do que o esperado. As causas são desconhecidas, a hipótese é que se os ensaios fossem realizados em idades mais elevadas as resistências seriam maiores, pois o CP-IV é um cimento com adição mineral, e os concretos produzidos com este tipo de cimento apresentam ganho de resistência em idades mais elevadas.

Quanto as misturas com substituição parcial de AGN por AGR, apesar de, conforme o resultado do esqueleto granular mostrado na Figura 5, a mistura com 50% do AGN substituído por AGR ser a melhor, pois apresentou o menor índice de vazios, os resultados mecânicos da mistura CAA_{50%} foi menor que o da mistura CAA_{40%}, que nos ensaios reológicos apresentou segregação e exsudação. No CAA_{60%} observa-se que resistências à compressão e à tração por compressão diametral não variaram expressivamente.

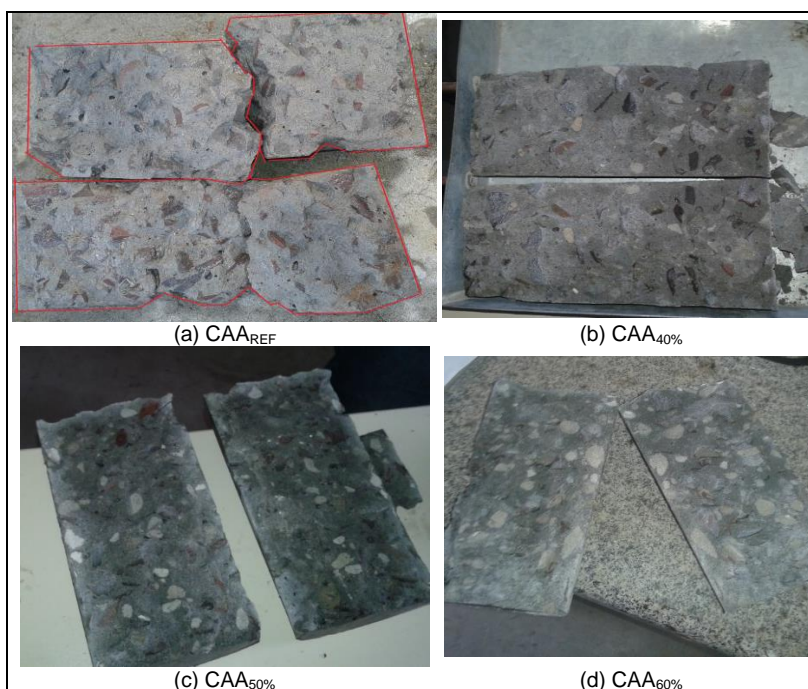
Assim pode-se verificar que o CAA_{40%} apresentou resultados dentro da faixa de 15 MPa que a Legislação brasileira estabeleceu para valores de resistência mecânica de concretos produzidos com AR.

Do ponto de vista da sustentabilidade o CAA_{60%}, apesar de não classificar-se como CAA em todos os critérios de classificação contidos na NBR 15823-1 (ABNT, 2010), quanto a resistência mecânica, apresentou-se com valores semelhantes aos

do CAA_{50%}, fator que, se comparado a esta mistura, o torna mais vantajoso, pois a substituição de AGN por AGR é 10% maior.

Na Figura 15 é mostrado o modo de fratura dos CP's submetidos à tração por compressão diametral.

Figuras 15 – Ensaio de ruptura por compressão diametral – σ_t



Fonte – Elaboração própria, 2015.

De acordo com a Figura 16 é possível observar o modo de fratura das amostras submetidas à tração por compressão diametral, e note-se na extensão da abertura do corpo de prova que nenhuma das amostras apresenta aparente segregação dos agregados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os dados obtidos no trabalho é possível chegar às seguintes conclusões.

- Conforme o esqueleto granular a composição de AGN e AGR foi de (50%/50%), onde obteve-se o menor volume de vazios. Além disso quando determinado o esqueleto granular dessa composição (50%/50%) com o AMN pode-se observar que a composição com menor volume de vazios também foi de (50%/50%).
- Nos ensaios de espalhamento e abatimento com o cone de Abrams, todas as misturas apresentam características de CAA. Segundo os critérios estabelecidos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010) a classe das misturas foi SF-1 para o espalhamento. Para a viscosidade plástica aparente foram classificadas de acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2010) como VS-2. Ainda foi possível observar nas imagens do espalhamento que a mistura CAA_{40%} apresentou pequena segregação e exsudação.
- Nos ensaios do Funil-V verificou-se que as misturas CAA_{REF} e CAA_{50%} foram as que se enquadraram entre os limites estabelecidos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010) de 8 à 25 segundos no fluxo do escoamento, com classificação VF-2. As outras misturas não apresentaram características de CAA neste ensaio, o que pode ter ocorrido devido a "quebra" do AGR, que ocorria porque entre cada ensaio as misturas eram recolocadas na betoneira, e assim as misturas ficaram mais viscosas.
- No ensaio da Caixa-L somente a mistura CAA_{REF} apresentou características de um CAA. As demais apresentaram valores abaixo do valor mínimo de 0,8 para a relação H₂/H₁ e não foram classificadas como CAA.
- Os resultados obtidos pelo ensaio do Anel-J apresentaram Δ condizentes de CAA para as misturas CAA_{REF}, CAA_{40%} e CAA_{50%}.
- A mistura que apresentou a maior resistência, tanto à compressão como à tração por compressão diametral foi a mistura CAA_{40%} com 16,74 MPa e 2,05 MPa, respectivamente. De acordo com a Legislação brasileira o valor mínimo de resistência à compressão é 15 MPa para concretos com agregados

reciclados. Além disso foi possível observar nos modos de fratura do ensaio de tração por compressão diametral não há evidências de segregação das misturas no estado endurecido.

5. 1 Sugestões para trabalhos futuros

Ainda é necessário que o as pesquisas sobre o tema continuem, assim este item apresenta sugestões para outros estudos.

- desenvolver melhoras nas técnicas de caracterização dos AR's, com ênfase
- à quantificação da absorção de água e da massa específica;
- pesquisar diferentes formas de preparo dos concretos reciclados modificando a ordem de colocação dos materiais na betoneira com a finalidade de diminuir a absorção da água da mistura por parte AR's;
- analisar a relação custo-benefício de produzir, do ponto de vista econômico;
- estudo da durabilidade de concretos com agregados reciclados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. São Paulo. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ALEXANDER, M.; MINDESS, S. **Aggregates in concrete**. New York: Taylor and Francis, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR EB 1763**: Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR NM 23**: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 47**: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NM 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 248**: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

_____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 45:** Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

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

_____. **NBR 7211:** Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 26:** Agregados: Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15823-1:** Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-2:** Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-4:** Concreto autoadensável. Parte 4: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-5:** Concreto autoadensável. Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

BARROS, A. R., GOMES, P. C. C.; BARBOZA, A. S. R. **Flexão de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço.** In: XXXIV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural (XXXIV Jornadas Sud-Americanas de Ingenieria Estructural). San Juan, 2010.B

BODI, J. **Experiência brasileira com entulho reciclado na pavimentação. In: reciclagem na construção civil, alternativa econômica para a proteção ambiental.** São Paulo. Núcleo de Desenvolvimento de Pesquisas POLI /UPE, 1997.

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

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EM 197-1: Cement – Composition, specifications and conformity criteria for common cements.** 2011.

BRANCO, R. P. **Utilização de resíduos de concreto em concreto autoadensável.** Ilha Solteira. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2012.

CARVALHO, G. A. de. **Dosagem e uso de concreto autoadensável em fábrica de pré-moldados.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhanguera, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. **Resolução nº 307.** Brasília, 2002.

EXPERTS FOR SPECIALISED CONSTRUCTION AND CONCRET SYSTEMS. **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.** 2002.

_____. **Specification, Production and Use.** 2005.

FORMAGINI, S. **Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MARANGON. E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço.** Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Caracterização material e estrutural de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço.** Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

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

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Disponível em: < www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/7183/4909>. Acesso em: 15 de jan. 2015.

PERIUS, G. R. **Influência das propriedades físicas de agregados reciclados sobre a retração por secagem em concreto autoadensável.** Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

PINTO, T. P. P. **Utilização de Resíduos de Construção:** estudo do uso em argamassas. São Carlos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1986.

_____. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo. Tese de Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

POSSAN, E. **Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição desílica ativa em ambiente natural e acelerado.** 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RHEOMAC UW 410. **Ficha técnica.** Disponível em: < <http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/aditivos/RHEOMACUW410/Documents/RHEOMAC%C2%AE%20UW%20410.pdf>>. Acesso em 15 de jan. de 2015.

ROZIÈRE, E. et al. **Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete.** Cement and Concret Composites, Oxford, v. 29, n. 8, p. 626-636, 2007.

SANTOS, E. C. G. dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** São Carlos. Dissertação de

Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

SILVA. A. F. F. da. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução CONAMA nº 307/ 02 – Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte.** Belo Horizonte. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SANTOS. P. A. dos.; SILVA. A. R da. **Propriedades reológicas do concreto autoadensável no estado fresco.** Universidade Católica de Salvador. Salvador, 2009?

SILVA. M. B. de L. e. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil.** Curitiba. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais PIPE. Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, 2014.

TENÓRIO. J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicação em estruturas.** Maceió. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, 2007.

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

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho como Agregado, na Confecção do Concreto.** Campinas. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.