

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ENGENHARIA CIVIL**

DAIANE THAIS DA ROCHA

**CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS
DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2016

DAIANE THAIS DA ROCHA

**CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS
DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel, em
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Marcos
Kolling

TOLEDO

2016



Ministério da Educação



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de N° 037

Concreto autoadensável com utilização de resíduos de concreto

por

Daiane Thais da Rocha

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 17:30 h do dia **17 de Novembro de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof^a Dra Lucia Bressiani
(UTFPR – TD)

Prof Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)

Prof Dr. Evandro Marcos Kolling
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof^a. Dra Silvana da Silva
Coordenadora da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de seguir a carreira que sempre sonhei e por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho sem as quais esse sonho não seria possível.

A minha família pelo esforço, carinho, amor incondicional e apoio total nas horas de dificuldade.

Ao meu orientador Evandro Marcos Kolling, que acreditou neste projeto e me guiou durante todos os momentos.

Aos professores integrantes da banca pelos conselhos e atenção a este trabalho.

A todos os meus amigos pela compreensão quando os estudos foram colocados à frente da vida social. Mas principalmente as minhas melhores amigas, companheiras de curso e vida Adriana Limberger, Bianca Leonessa, Letícia Fideli e Raquel Wesseling por todos os anos de cumplicidade.

Aos colegas de turma pelos momentos de risadas e de tristeza que dividiram comigo.

E por último, mas não menos importante, a todos os professores que estiveram presentes nessa caminhada contribuindo com seus conhecimentos técnicos e seus conselhos, serão sempre lembrados e admirados.

As histórias têm começo meio e fim. Na vida, cada fim é um novo começo.

Walt Disney

RESUMO

O concreto autoadensável é relativamente novo, e tem suas principais características e vantagens a capacidade de fluidez sem segregação e o preenchimento de todo o interior das formas sem auxílio de vibrador mecânico. Através desta pesquisa busca-se uma alternativa sustentável para a destinação dos resíduos produzidos na construção, de forma que estes contribuam nas características físicas e mecânicas do concreto autoadensável. Foram testados quatro tratamentos, sendo utilizado como referência o concreto dosado sem adição de resíduos. Buscando encontrar um traço que obtenha o mesmo desempenho do traço referência, foram testados os traços com substituição de 35, 40 e 45% do agregado miúdo por resíduo de concreto, com vistas à trabalhabilidade. A quantidade de aditivo foi determinada de forma experimental através dos testes no estado fresco. Foram avaliadas e comparadas as propriedades dos tratamentos quanto à resistência a segregação, habilidade passante, trabalhabilidade, absorção, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Com os resultados obtidos no estado fresco foi possível aferir que os traços com adição de resíduo mantiveram as características do concreto autoadensável, sendo possível classificar sua utilização de acordo com os resultados exigidos em norma. Para os testes no estado endurecido, os traços com adição de 35% e 45% de resíduo de concreto obtiveram resistências inferiores ao traço referência em 17% e 24% respectivamente, apenas o traço com 40% de adição superou o traço referência, aos 56 dias, comprovando a eficácia do material empregado. Os resultados de absorção corroboram com os resultados da resistência a compressão, pois, a menor porcentagem foi encontrada para o traço com 40% de adição, sugerindo um melhor empacotamento das partículas. Para o módulo de elasticidade, o traço referência obteve o melhor desempenho, o que já era esperado devido às características do resíduo de concreto.

Palavras-chave: Resíduo de concreto. Concreto autoadensável. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The self-compacting concrete is relatively new, and it has its main characteristics and advantages by its flow capacity without segregation, and filling the entire inside of the forms without the internal concrete vibrator. This research seeks a sustainable alternative for the waste disposal produced in the construction, so that it can contribute in the physical and mechanical properties of self-compacting concrete. Four treatments were tested, being used as the reference concrete dosed without addition of waste. Seeking to find a trace to get the same performance of the reference trace, the traces were tested by replacing 35, 40 and 45% of fine aggregate for concrete residue with a view to workability. The amount of additive was determined experimentally by testing in the fresh state. The properties of the treatments for resistance to segregation, passing ability, workability, absorption, compressive strength and elastic modulus were evaluated and compared. With the results obtained in the fresh state, it is possible to assess the traits with the addition of self-compacting concrete residue maintained the characteristics of being able to sort their use according to the results required in standard. For the tests in hardened condition, the traces with the addition of 35% and 45% of concrete residue obtained resistances below the reference trace in 17% and 24%, respectively, only the trace with 40% added exceeded the reference trace, after 56 days, proving the effectiveness of the material used. The absorption results corroborate the compressive strength results, because the lowest percentage was found for the trace with 40% added, suggesting a better particle packing. For the modulus of elasticity, the reference trace performed best, which was expected due to concrete residue characteristics.

Key-words: Concrete waste. Self-compacting concrete. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resistência ao cisalhamento em função da forma do agregado miúdo.	22
Figura 2- Gráfico de distribuição granulométrica da areia fina e média.	27
Figura 3- Gráfico da granulometria correspondente a brita 0.	28
Figura 4- Gráfico correspondente à distribuição granulométrica do RC.	30
Figura 5- Medida do <i>slump flow</i>	35
Figura 6- Comparação entre a mistura antes (a) e depois (b) da adição de superplastificante.	41
Figura 7- TR com 1% de aditivo.	42
Figura 8- Funil-V, <i>Slump flow</i> e Caixa L, confeccionados para realização dos testes.	42
Figura 9 – Cura dos corpos de prova.	44
Figura 10- Corpo de prova submetido a ensaio mecânico em máquina Universal.	45
Figura 11- Crescimento da resistência à compressão.	46
Figura 12 – Porosidade no interior do corpo de prova.	48
Figura 13- Comparação entre o concreto com aditivo e um concreto convencional.	48
Figura 14- Gráfico de Pareto.	50
Figura 15- Avaliação do Teor de Resíduo em relação aos dias de Cura.	50
Figura 17- Predição de Valores Ótimos.	52
Figura 18- Gráfico 3D – Modelo estriado	52
Figura 19- Taxa de absorção para cada tratamento.	54
Figura 20- Módulos de Elasticidades para cada tratamento.	55
Figura 21- Método de dosagem Tutikian.	65
Figura 22: Dimensões do Funil-V.	70
Figura 23: Dimensões Caixa-L.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coleta de RCD na Região Sul.....	20
Tabela 2- Caracterização do Cimento CP V- ARI	25
Tabela 3- Características físicas da Areia Fina e da Areia Média	26
Tabela 4- Caracterização da Brita 0.....	28
Tabela 5- Caracterização do RC	29
Tabela 6- Proporções para o traço referência	32
Tabela 7- Ensaio para avaliação da trabalhabilidade do CAA	33
Tabela 8- Classe de espalhamento.....	34
Tabela 9- Classe de viscosidade plástica aparente T500	36
Tabela 10- Classes de habilidade passante Caixa L.....	37
Tabela 11- Composição dos traços desenvolvidos em laboratório.	41
Tabela 12- Resultados dos testes no estado fresco para cada tratamento.....	43
Tabela 13- Média das resistências à compressão nos diferentes períodos de cura e seu coeficiente de variação.	45
Tabela 14- ANOVA- 5% nível de significância.	49
Tabela 15- Teste de médias– TUKEY – 5% de nível de significância.....	51
Tabela 16- Limites para o espalhamento no slump flow test.....	67
Tabela 17-Valores limites para o ensaio Funil-V	67
Tabela 18- Valores obtidos no ensaio da Caixa-L.....	68
Tabela 19- Resultados obtidos para resistência à compressão.	72

LISTA DE SIGLAS

a/c	Relação água cimento
B0	Classe de agregado graúdo com diâmetro máximo de 12,5 mm.
cp	Corpo de prova
CAA	Concreto autoadensável
CCV	Concreto Convencional
CM	Centímetro
CP	Cimento Portland
CPV-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
F	Finura
Fck ₂₈	Resistência à compressão aos 28 dias
h	Hora
H1	Maior altura da camada de material depositada na caixa "L"
H2	Menor altura da camada de material depositada na caixa "L"
H2/H1	Relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa - L
Kg	Quilograma
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
l/m ³	Litros por metro cúbico
M	Metro
MF	Modulo de finura
mm	Milímetro
m ³	Metro cúbico
RB	Relação de bloqueio
RCD	Resíduo de construção e demolição
RC	Resíduo de concreto
s	Segundos
SP	Aditivo superplastificante
T	Tempo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TR	Traço referência
T35	Traço com 35% da areia fina substituída por RC
T40	Traço com 40% da areia fina substituída por RC

T45	Traço com 45% da areia fina substituída por RC
T50	Tempo gasto pelo concreto até alcançar a marca dos 500 mm no ensaio de espalhamento
TL20	Tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 20 cm na parte horizontal da caixa - L
TL40	Tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 40 cm na parte horizontal da caixa – L
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVO	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL	16
2.1.1 Vantagens do concreto autoadensável.....	18
2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	19
2.2.1 Resíduo de concreto	21
2.3 AGREGADOS.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 MATERIAIS.....	24
3.1.1 Cimento	24
3.1.2 Agregados Miúdos	25
3.1.3 Agregado Graúdo	27
3.1.4 Resíduos de Concreto	29
3.1.5 Aditivos	30
3.1.6 Água	31
3.2 MÉTODOS.....	31
3.2.1 Dosagem do concreto.....	31
3.2.2 Traço Referência	31
3.2.3 Traços Experimentais	32
3.2.4 Testes para o estado fresco	33
3.2.4.1 Slump flow test.....	33
3.2.4.2 V-Funnel	35
3.2.4.3 L-Box.....	36
3.2.5 Testes para o estado endurecido.....	37
3.2.5.1 Resistência à compressão	38
3.2.5.2 Modulo de Elasticidade	38
3.2.5.3 Absorção.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 TRAÇOS	41
4.2 TESTES PARA O ESTADO FRESCO	42
4.3 TESTES PARA O ESTADO ENDURECIDO.....	44
4.3.1 Resistência à compressão.....	44

4.3.2 Absorção.....	53
4.3.3 Módulo de Elasticidade.....	54
5 CONCLUSÃO.....	57
6 REFERÊNCIAS.....	58
ANEXO A- Método de dosagem desenvolvido por Tutikian.....	64
ANEXO B- Valores de referência para os testes no estado fresco.....	66
ANEXO C- Dimensões dos aparelhos confeccionados.....	69
ANEXO D- Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.....	71

1 INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) é uma tecnologia já bastante difundida no Brasil, mas teve sua origem no Japão na década de 1980. Segundo Gomes e Barros (2009), surgiu da necessidade de obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, utilizando a proporção otimizada dos componentes e sem a necessidade de adensamento mecânico do concreto.

Ainda segundo autores, este concreto se diferencia do concreto comum, por suas características no estado fresco. As principais vantagens são o menor tempo de concretagem, maior produtividade, menor tempo de execução da obra e ambiente de trabalho mais saudável.

O CAA tornou-se um importante instrumento para a construção civil devido a sua capacidade de preenchimento, habilidade de passar por obstáculos e resistência à segregação.

Tendo em vista o exposto, e considerando a elevada quantidade de resíduos gerados pela atividade da construção civil, que além de significativo desperdício de material, representa também um passível ambiental e social, surgiu o interesse em produzir CAA substituindo a areia natural por um agregado reciclado, proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD). Esta possibilidade poderá ajudar na redução dos problemas ambientais vinculados a extração de areia natural além de contribuir para a auto sustentabilidade do setor.

De acordo com Silva *et al.*, (2005) a obtenção de areia natural para utilização em concreto vem se tornando cada vez mais difícil devido ao esgotamento de jazidas e às restrições impostas pelos órgãos de fiscalização ambiental. Estes problemas são resultado de um longo período de exploração, o que tem tornado necessária a busca do material em locais cada vez mais distantes. Como a Lei 4.771/65 do Código Florestal Brasileiro (1965) considera áreas de preservação permanentes as florestas e demais formas de vegetações naturais situadas ao longo dos rios ou cursos d'água, as licenças para exploração de areia, a qual é obtida, principalmente, através da extração em leito de rios, têm sido suspensas, tornando a areia natural um material mais caro e escasso (ALMEIDA E SILVA, 2005).

Os RCDs conceituam-se como todo resíduo proveniente de construções, reformas, demolições, podendo ser composto por concretos, argamassas, materiais cerâmicos, solos e gesso (ULSEN *et al.*, 2010).

Existem diversos trabalhos que comprovam a possibilidade de substituição de areia natural por outro agregado reciclado. Dentre estes, destacam-se os estudos realizados por Branco (2012), o qual utilizou Resíduo de concreto na composição; Klein (2008), que usou areia de britagem; Silva (2012) com agregado de telha cerâmica; ou ainda com resíduo do beneficiamento do mármore e granito, como estudado por Lisbôa (2004).

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades do concreto autoadensável com substituição do agregado miúdo por resíduos de construção.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Testar o traço referência desenvolvido por Branco (2012), para comprovar sua trabalhabilidade utilizando os materiais da região;
- Testar os traços com substituição de 35, 40 e 45% da areia por RC com vistas à trabalhabilidade;
- Comparar as resistências dos traços estudados em relação ao traço referência.
- Avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido do concreto autoadensável com RC.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos gerados na construção civil em geral apresentam qualidades inferiores a dos agregados naturais, sendo sua densidade também menor, porém, com uma maior absorção de água em relação aos agregados provenientes da natureza. Assim sendo, faz-se necessário o estudo de dosagem para garantir a qualidade do produto gerado (LIN YH *et al.*, 2004 *apud* BRANCO, 2012).

A construção civil é uma das grandes responsáveis pelo excesso de resíduos, que causam o esgotamento dos locais de despejo, aumentando o descarregamento em locais impróprios, causando graves danos ao meio ambiente e levando a problemas de saneamento decorrentes de uma contaminação ambiental. Para amenizar tais problemas, é possível que se faça a incorporação destes materiais dentro da própria construção civil, como uma alternativa para tentar reduzir seus danos, visto que, além de valorizar estes materiais, contribui na preservação dos recursos naturais (SOUZA *et al.*, 2006).

Como já existem trabalhos comprovando a eficácia do concreto autoadensável com substituição da areia por resíduos de concreto (RC), este estudo busca encontrar uma composição, utilizando os materiais da região de Toledo -PR, que não comprometa a qualidade técnica, econômica e funcional da composição alternativa, frente ao CAA convencional.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é baseada no estudo de concretos do tipo autoadensável.

Para tal, foram estudados três traços com inserção de resíduo de concreto nas proporções de 35, 40 e 45% em uma composição de CAA. O traço referência adotado foi o mesmo já desenvolvido por Branco (2012).

Para tal, foi utilizado o cimento CP V-ARI, duas areias (areia fina e média), brita zero e um superplastificante.

Partindo do traço já estudado, foram utilizados os materiais locais disponíveis para reproduzi-lo e incorporar as porcentagens de resíduo de concreto (RC) em substituição a areia fina nos traços de T35 e T40 e substituindo toda a porcentagem de areia fina e mais 5% da areia média no T45.

Os traços com inserção de RC foram comparados ao traço referência, tanto nos testes de estado fresco quanto no estado endurecido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O Concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, contudo, o mercado atual exige, cada vez mais, novas técnicas que tragam soluções aos problemas enfrentados na construção civil. Assim sendo, é necessário que sejam desenvolvidos novos produtos, como é o caso dos concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos e sustentáveis, todos com a função de satisfazer a demanda por produtos com características especiais que tragam soluções mais eficientes (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008).

Segundo Gomes (2009) o CAA foi desenvolvido na Universidade de Tóquio e teve início com o Professor Hajime Okamura na década de 1980. Foi desenvolvido com o intuito de produzir estruturas mais duráveis, feitas de forma econômica e no menor tempo de execução possível, através da proporção otimizada dos componentes da mistura e a ausência do adensamento mecânico do concreto.

Segundo Ouchi(1993) *apud* Rambo (2009) um típico exemplo das primeiras aplicações de concreto autoadensável no Japão, são as duas ancoragens da Akashi-Kaikyo, a ponte de maior vão livre do mundo com 1.991 metros, onde o volume de concreto lançado nas duas ancoragens ultrapassou o volume de 290.000 m³.

De acordo com a Concrete Society (2005), o uso do concreto autoadensável é relativamente novo, mas vêm aumentando devido as suas vantagens em comparação ao concreto vibrado.

A técnica de compactação do concreto é uma etapa fundamental na construção civil. Tal prática garante ao concreto uma estrutura mais homogênea, com menos vazios, proporcionando uma melhor resistência e durabilidade. Porém, esse processo demanda tempo e mão de obra qualificada para garantir que no estado endurecido todas as propriedades esperadas sejam alcançadas (NUNES, 2001).

As principais características e vantagens do CAA em relação ao Concreto Convencional Vibrado (CCV) são a capacidade de fluidez sem segregação e o preenchimento de todo o interior das formas sem auxílio de vibrador mecânico (MESQUITA et al., 2009).

De acordo com EFNARC (2002) para considerar um concreto como autoadensável, ele deve apresentar habilidade passante, fluidez e resistência à segregação. A habilidade passante é a coesão necessária para que a mistura escoe, sem segregação, entre barras de aço. A fluidez se caracteriza como a capacidade do concreto autoadensável de fluir, sem dificuldade, para preencher todos os espaços da forma. A resistência à segregação é a capacidade do concreto de se manter coeso, movimentando-se sem haver separação entre a pasta e os agregados.

Para a produção do concreto autoadensável é possível utilizar os mesmos materiais usados no concreto convencional (cimento, água, agregados, adições e aditivos), mas em proporções distintas. O CAA geralmente apresenta maior teor de finos, agregados miúdos, aditivos superplastificantes e menor teor de agregados graúdos, (COUTINHO, 2011).

Tutikian (2004) afirma que o CAA é tão versátil quanto o concreto convencional, pois pode ser dosado no canteiro de obras ou ainda em centrais de concreto e depois transportado via caminhão betoneira para as construções, ou moldado *in loco* como na indústria de pré-moldados.

De acordo com Camargos (2002) o concreto auto adensável é indicado para a execução de fundações em hélice contínua, paredes, reservatórios e piscinas, vigas e colunas, estações, pisos e contrapisos, lajes, pilares, muros, painéis, obras com acabamento em concreto aparente, obras de concreto em locais de difícil acesso, para peças pequenas, quando há muitos detalhes ou com formatos não convencionais, onde seja difícil a utilização de vibradores e em obras densamente armadas.

Segundo Coutinho (2011), as propriedades do CAA no estado fresco são importantes para que as exigências de projeto sejam atendidas, assim sendo, devem ser analisadas com mais frequência do que suas propriedades no estado endurecido. Dessa forma, a necessidade de controle da qualidade das propriedades do material no estado fresco aliado à falta de confiabilidade nos métodos de dosagem, aumenta a insegurança na utilização desse material.

2.1.1 Vantagens do concreto autoadensável

Conforme Tutikian e Dal Molin (2008), pode-se mencionar como vantagens os seguintes itens:

- I. Como não é necessário realizar o adensamento e seu lançamento é feito de forma rápida, o processo de construção se torna mais rápido;
- II. Necessita menos mão de obra, pois é de fácil nivelamento, espalhamento e não necessita vibração;
- III. O CAA é extremamente fluido, melhora o acabamento da superfície;
- IV. É capaz de aumentar a durabilidade, pois evita que ocorram falhas de concretagem que acontecem em decorrência da má vibração;
- V. Como tem a habilidade de se moldar facilmente à forma, permite grande liberdade de formas e dimensões, pois preenche fôrmas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- VI. Possibilita a concretagem de peças com seções reduzidas;
- VII. Melhora o ambiente de trabalho, pois não há barulho de vibração, o que é essencial quando se realizam obras em locais onde há muitas moradias, ou em casos de concretagens noturnas ou obras perto de locais que exigem silêncio como escolas e hospitais;
- VIII. Como necessita menos mão-de-obra, o canteiro de obra torna-se mais seguro;
- IX. Pode tornar-se uma iniciativa sustentável, pois permite a adição de resíduos industriais;
- X. Caso sejam incorporados os resíduos industriais, o custo final do concreto e/ou da estrutura pode ser reduzido.

Ainda de acordo com os autores, a trabalhabilidade é capaz de reduzir problemas ergonômicos nos trabalhadores, pois facilita o lançamento e não provoca problemas auditivos gerados pelo barulho dos vibradores.

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Resíduos de Construção e Demolição, ou RCD, são materiais descartados como tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., que, segundo a Resolução CONAMA 307(2002), apresentam um alto valor agregado e bom comportamento mecânico.

Segundo estudos realizados pelo SindusCon-Sp (2005) (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo) a atividade da construção civil gera a parcela predominante da massa total dos resíduos sólidos urbanos. Cerca de 75% dos resíduos gerados pela construção nos municípios provêm de eventos informais (obras de construção, reformas e demolições, geralmente realizadas pelos próprios usuários dos imóveis). Ainda segundo o Sindicato a falta de efetividade ou, em alguns casos, a inexistência de políticas públicas que disciplinam e ordenam os fluxos da destinação dos resíduos da construção civil nas cidades, associada ao descompromisso dos geradores no manejo e, principalmente, na destinação dos resíduos, provoca inúmeros impactos ambientais.

Para Ferreira (2009), em muitos anos, no Brasil, os problemas com resíduos de construção foram ignorados, e as Políticas Públicas foram pensadas apenas para resíduo domiciliar e esgoto.

Atualmente, a busca por soluções dentro da própria construção civil vem movendo o setor em relação aos resíduos gerados, isto devido a Resolução N° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), as quais atribuem responsabilidade compartilhada aos geradores, transportadores e gestores municipais quanto ao gerenciamento destes resíduos.

A Tabela 1 apresenta a coleta de RCD na Região Sul nos anos de 2013 e 2014.

Tabela 1- Coleta de RCD na Região Sul

Ano	Região SUL	TOTAL
2013	RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia)	16.067 / 0,558
	População Urbana (hab.)	29.016.114
2014	RCD Coletado (t/dia)	16.513
	Índice (kg/hab./dia)	0,569

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2013 e 2014 e IBGE

A construção civil é grande responsável pelo excesso de resíduos, que causam o esgotamento dos locais de despejo, aumentando o descarregamento em locais impróprios causando graves danos ao meio ambiente e levando a problemas de saneamento decorrentes de uma contaminação ambiental (SOUZA et al., 2006).

Embora os RCDs sejam vinculados a uma série de problemas, também são vistos como uma oportunidade econômica viável quando há a exploração racional de seus potenciais. Conforme Oliveira et al. (2002) os materiais que apresentam maior potencial como matérias-primas são: areias, pedras-britadas, concretos e argamassas endurecidas, tijolos, cacos cerâmicos e madeiras.

Desta forma, Souza et al. (2006) e Branco (2012) afirmam que os resíduos de construção e demolição, os quais são geralmente classificados como materiais inertes, quando devidamente reciclados, apresentam propriedades físicas e químicas apropriadas para o seu emprego como material de construção. Assim sendo, é possível incorporar esses materiais dentro da própria construção civil, como uma alternativa para tentar reduzir seus danos, visto que, além de valorizar estes materiais, evita o esgotamento dos recursos naturais.

Os resíduos de Construção são classificados em quatro classes de acordo com a NBR 15114 (2004), sendo estas:

Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construções, reformas e demolição de pavimentos, de obras de infraestrutura, de edificações e de fabricação e/ou demolição de pré-moldados de concreto produzidos em obras.

Classe B – resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, metais, madeiras, etc.

Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias economicamente viáveis para sua reciclagem/recuperação, como o gesso.

Classe D – resíduos perigosos como tintas, solventes, óleos, etc. e oriundos de obras em clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O resíduo utilizado na pesquisa enquadra-se na classe A, sendo exclusivamente de concreto.

Atualmente existem diversas pesquisas com utilização de RCD, como o estudo realizado por Borges *et.al* (2009) o qual desenvolveu tijolos de concreto com agregados reciclados; Sentena (2009), estudou a absorção em concretos com agregado reciclado para comprovar a eficácia do mesmo; concreto leve estrutural com cerâmica pesquisado por Amario (2013).

Na prática, o RCD já tem função regida por norma na utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural especificado pela NBR 15116:2004. Pode ainda ser utilizado para aterros conforme a NBR 11513:2004.

2.2.1 Resíduo de concreto

De acordo com o manual sobre resíduos sólidos da Construção Civil (2011), os entulhos de concreto, caso passem por britagem e separação em agregados de diferentes tamanhos, podem ser usados para produção de concreto asfáltico, de sub-bases de rodovias, de concreto com agregados reciclados, de artefatos de concreto, como meio-fio, blocos de vedação, briquetes, etc., Resíduos que não passam por beneficiamento, podem ser utilizados como subleito na construção de estradas ou como material de aterro.

Para desenvolvimento desta pesquisa de viabilidade técnica da substituição de areia fina por material reciclado, foram utilizados apenas resíduos de concreto, pois existem estudos, como os realizados por Silva (2012), que comprovam que materiais cerâmicos, devido a sua baixa massa específica, absorção de água e forma lamelar, dificultam o ajuste das propriedades no estado fresco, como a coesão e a fluidez, as quais são características determinantes no CAA.

2.3 AGREGADOS

Mehta e Monteiro (1994) enfatizam a importância dos agregados para a produção de concretos, conforme os autores estes exercem influências na trabalhabilidade das misturas, resistência, estabilidade dimensional e na durabilidade do concreto. Neville e Brooks (1990) acrescentam que a qualidade do agregado é de extrema importância, pois as características dos agregados podem ter grande influência também sobre a durabilidade e o desempenho estrutural dos elementos moldados.

Para que o concreto autoadensável atenda as exigências que definem suas propriedades é necessário que a mistura possua um elevado volume de pasta e reduzido volume e dimensão máxima característica do agregado graúdo. (CAVALCANTI, 2006)

Para Tutikian e Dal Molin (2008) a resistência ao cisalhamento da mistura está diretamente relacionada ao ângulo da partícula, sendo que quanto maior, menor será a possibilidade de deformação do concreto. A Figura 1 apresenta a relação entre a resistência ao cisalhamento e a forma dos grãos do agregado miúdo.

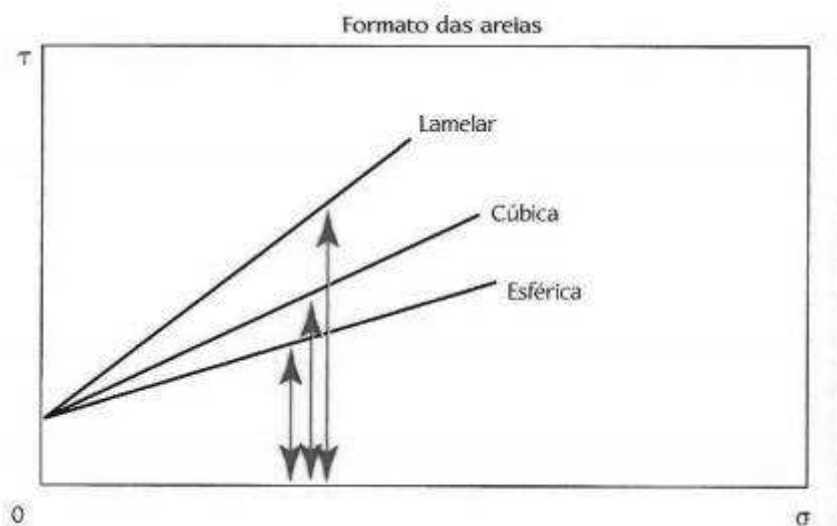


Figura 1: Resistência ao cisalhamento em função da forma do agregado miúdo.
Fonte: TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2008.

Ainda segundo estes autores agregados porosos e angulares, como é o caso do resíduo de concreto, têm melhor aderência com a pasta de cimento, mas por outro lado, a porosidade faz com que ocorra um maior consumo de água.

Klein (2008) ressalta que os agregados para concreto podem ser classificados quanto a sua origem, agregados naturais, artificiais ou britados; quanto à dimensão dos grãos, graúdo e miúdo; e quanto à sua massa unitária, agregados leves – com massa unitária inferior a 1120 kg/m^3 - e os agregados pesados – com massa unitária superior a 2080 kg/m^3 .

Para a produção de CAA na qual se busca uma maior viscosidade é necessário que a porcentagem de agregado graúdo seja minimizada, dando espaço ao uso de partículas finas. (MELO, 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O CAA exige vários ensaios para comprovar sua trabalhabilidade no estado fresco e resistência no estado endurecido. Para tal, foram utilizadas as estruturas físicas e equipamentos dos laboratórios do Curso de Engenharia Civil da UTFPR de Toledo. Primeiramente foram caracterizados os materiais locais empregados, para confronto com os utilizados no estudo de Branco (2012), que se tomou como base para o trabalho em questão. Após comprovar a eficiência desse traço referência, foram testados os traços com adição de resíduos.

Dos testes realizados por Branco (2012) apenas um traço obteve melhor resultado utilizando resíduo de concreto de granulometria média, o qual foi o traço chamado de intermediário (1:4). Dessa forma, a pesquisa foi direcionada ao estudo da substituição do agregado miúdo por resíduo de construção de granulometria média no traço mencionado. Definiu-se assim como TR o traço intermediário de 1:4.

A escolha deste traço se deu devido à facilidade de se encontrar RC com essa granulometria. Do contrário, seria necessário fazer a moagem e peneiramento do RC, se tornando inviável para os casos de concreto dosado no canteiro de obras.

3.1 MATERIAIS

Todos os materiais utilizados são provenientes da região Oeste do Paraná, mais precisamente dos Municípios de Toledo e Cascavel, e suas características são descritas a seguir.

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado neste trabalho foi o Cimento Portland V de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), o qual atende a NBR 5737:1991, podendo conter até 5% de fíler calcário.

De acordo com o fabricante, o CP V-ARI é um cimento Portland que possui alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido.

Este material tende a dar bons resultados, pois de acordo com o fabricante possui maior quantidade de finos, e Rambo (2009) afirma que com cimentos mais finos, tem-se maior superfície específica, o que proporciona menor tensão de escoamento e há uma quantidade maior de partículas em contato com a água, o que gera uma maior viscosidade, diminuindo a distância entre os grãos e aumentando a frequência de colisão entre eles.

A Tabela 2 apresenta todos os testes e resultados encontrados, buscando garantir que o cimento utilizado encontrava-se de acordo com a NBR 5733:1991.

Tabela 2- Caracterização do Cimento CP V- ARI

Resistência à compressão (MPa)- NBR 7215:1996	1 dia	22,37
	3 dias	38,53
	7 dias	44,33
	28 dias	54,33
Início de pega (h) - NBR NM 65:2003		3,2
Fim de pega (h) - NBR NM 65:2003		3,9
Finura na peneira # 200 (%) - NBR 11579:1991		0,033
Massa específica (g/cm ³) - NBR NM 23:2001		3,05
Blaine (cm ² /g) - NBR NM 76:1998		4.270

Os valores de resistência à compressão obtidos para um, três, sete e 28 dias foram todos superiores aos estabelecidos pela NBR 5733:1991 sendo assim, o CP V- ARI esteve apto a utilização no desenvolvimento do trabalho.

3.1.2 Agregados Miúdos

Segundo a NBRNM 52:2003 caracteriza-se como agregado miúdo o material que passa na peneira com abertura de malha de 9,5 mm, que passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica retido, em sua maior parte, na peneira 75 µm.

Todas as areias normais são adequadas para a produção do CAA, podendo-se utilizar tanto areias naturais, as quais são mais recomendadas, quanto as obtidas de processos industriais. Outro ponto importante é a quantidade de grãos com diâmetro inferior a 0,125mm, pois junto com as partículas de aglomerante podem aumentar a viscosidade e coesão da mistura (EFNARC 2002).

Okamura e Ouchi (2003) *apud* Silva (2008), concluíram que as partículas mais recomendáveis para a produção do CAA são as que possuem formato esférico e textura lisa, pois possuem superfícies específicas reduzidas, demandando menos água e superplastificante para a obtenção do espalhamento desejado. Esse formato contribui ainda para o efeito de “rolamento” das partículas na argamassa, melhorando a reologia da mistura.

Outro fator que influencia na fluidez é a umidade. Assim sendo, é necessário um rigoroso controle na umidade do agregado miúdo para que não haja variação (YURUGI & SAKAY, 1998 *apud* MELO, 2005).

Para desenvolvimento dos traços estudados foram utilizadas duas areias, uma com granulometria fina e outra média.

Para caracterização dos agregados miúdos, oriundos da região, são apresentados os resultados na Tabela 3.

Tabela 3- Características físicas da Areia Fina e da Areia Média

Ensaio realizado	Areia Fina	Areia Média
Massa Específica (g/cm ³) - NBR NM 52:2003b	2,64	1,28
Massa Unitária Seca (g/cm ³) - NBR NM 45:2006	1,62	1,67
Teor de Materiais Pulverulentos (%) - NBR NM 46:2003c	0,62	0,5
Modulo de Finura - NBR NM 248:2003	1,88	2,60

Os resultados obtidos na Tabela 3 confirmam a classificação proposta na NBR 7211:2009 para agregados miúdos. De acordo com a norma a areia fina deve possuir o MF entre 1,55 e 2,20 e a areia média o MF entre 2,20 e 2,90.

A Figura 2 apresenta os gráficos da distribuição granulométrica das areias de acordo com teste realizado conforme NM 248:2003a.

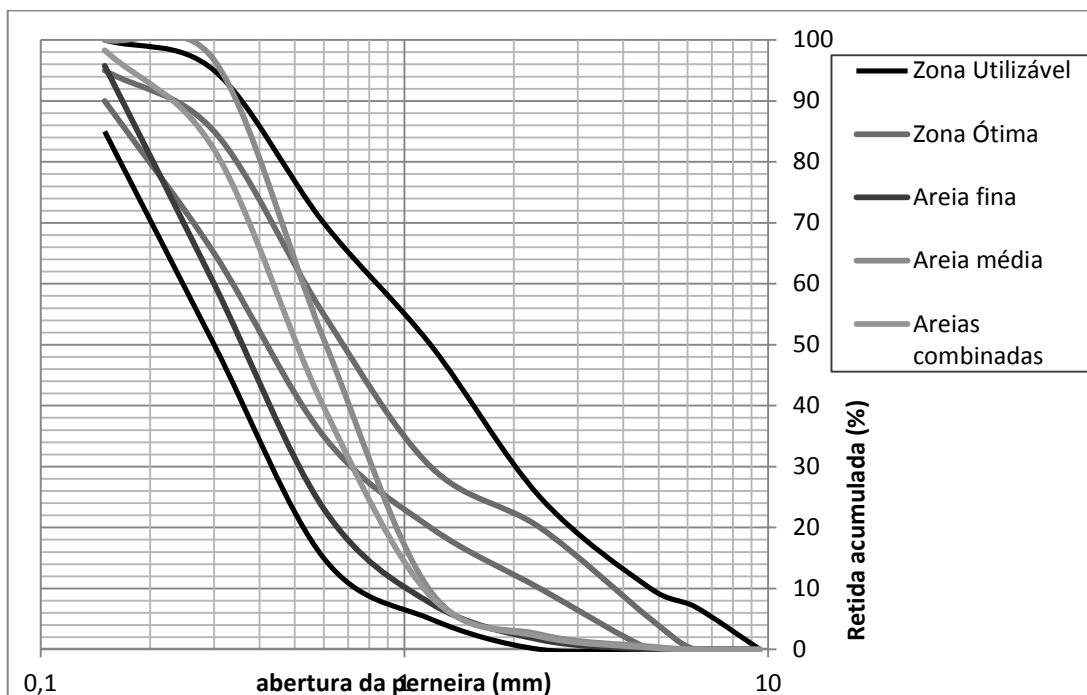


Figura 2- Gráfico de distribuição granulométrica da areia fina e média.

Através do gráfico é possível constatar que individualmente as areias estão dentro do limite considerado utilizável pela NM 248:2003, mas não dentro dos valores considerados na zona ótima. Entretanto quando combinadas na proporção de 40% areia fina e 60% areia média esta passa a estar em sua maioria dentro da zona considerada ótima, tornando-se assim mais adequada ao emprego na produção de concreto.

3.1.3 Agregado Graúdo

A habilidade passante do CAA está diretamente ligada ao tamanho e a forma do agregado graúdo. Assim sendo, quanto mais esféricas as partículas dos agregados, maior será a fluidez, pois menor será o atrito interno. Desta forma, é importante que se faça a caracterização do agregado graúdo.

De acordo com Branco (2012) a brita a ser utilizada para o TR é a brita zero, pois com essa granulometria a segregação provocada pela falta de coesão da argamassa é menos intensa.

Os resultados da caracterização da brita são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Caracterização da Brita 0.

Massa Específica (g/cm ³) - NBR NM 53: 2009	2,76
Massa Unitária Seca (g/cm ³) - NBR NM 45:2006	1,52
Teor de Materiais Pulverulentos (%) - NBR NM 46:2003c	1,7
Absorção (%) - NBR NM 53:2009	4,04

Na Figura 3 são apresentadas as curvas com os valores limites estabelecidos pela norma para brita utilizável em concreto convencional e a curva de distribuição da Brita 0.

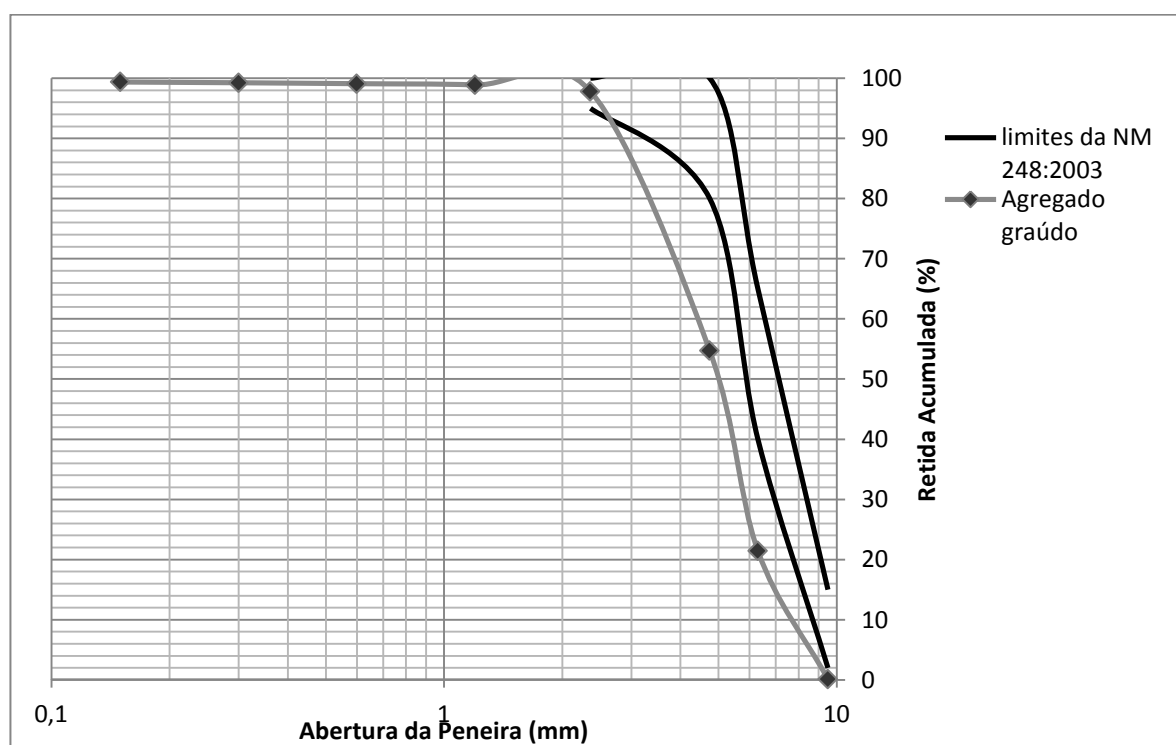


Figura 3- Gráfico da granulometria correspondente a brita 0.

Conforme Figura 3, é possível aferir que a brita utilizada tem uma granulometria inferior à considerada utilizável pela norma NM 248:2003 para concreto comum. Porém, como o concreto em estudo é o autoadensável esse fator não interfere negativamente nos resultados, considerando que uma granulometria menor da brita melhora a fluidez e diminui a segregação (BRANCO 2012). O material apresentou também uma porcentagem de absorção muito superior à

encontrada por Branco (2005) o qual obteve 0,98% de absorção enquanto a brita aqui utilizada obteve 4,04% de absorção.

3.1.4 Resíduos de Concreto

Os resíduos utilizados para a formulação do traço foram coletados e moídos por uma empresa de reciclagem de materiais de construção, situada em Cascavel-PR.

De acordo com a empresa o resíduo pode ser constituído pelo material que se desejar, sendo necessário apenas aviso prévio para que seja feita a seleção e moagem com antecedência.

Para o presente estudo foi utilizado o resíduo composto apenas por concreto, tendo como diâmetro máximo 4,75mm.

Os resultados obtidos nos testes para o resíduo de concreto são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Caracterização do RC

Massa Específica (g/cm ³) - NBR NM 52:2003b	1,22
Massa Unitária Seca (g/cm ³) - NBR NM 45:2006	1,62
Teor de Materiais Pulverulentos (%) - NBR NM 46:2003c	13,27
Modulo de Finura - NBR NM 248:2003	2,75

A Figura 4 apresenta os valores obtidos no teste de granulometria para os resíduos de concreto.

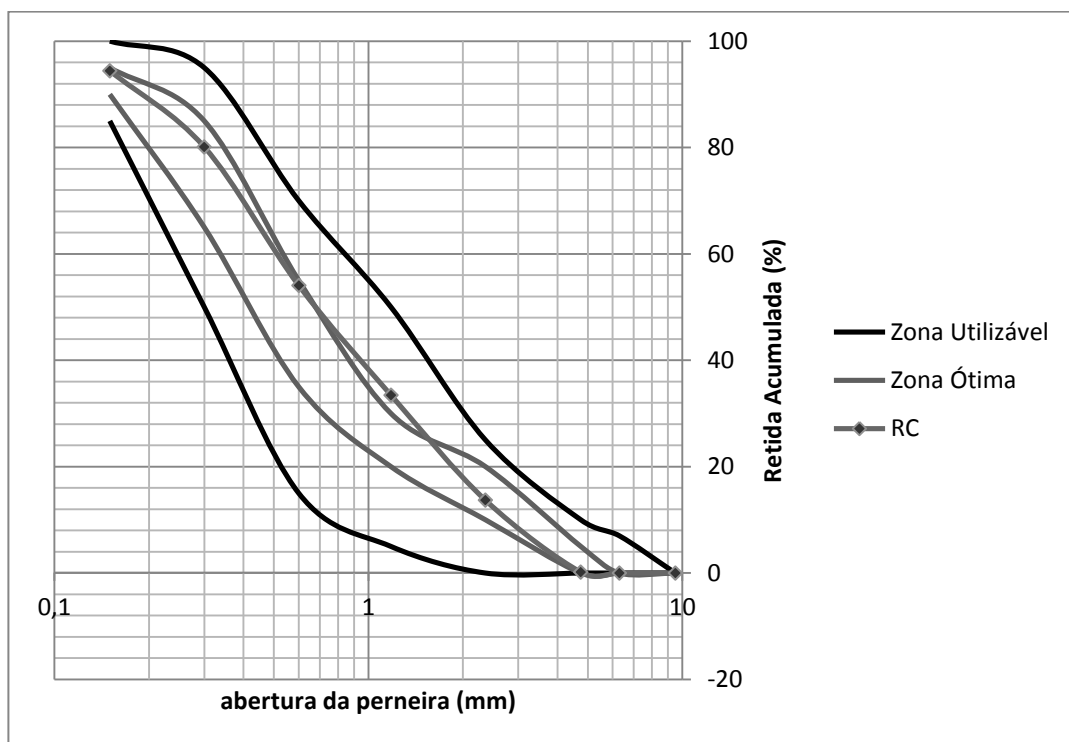


Figura 4- Gráfico correspondente à distribuição granulométrica do RC.

O resíduo de concreto apresentou uma alta porcentagem de materiais pulverulentos se comparado à areia fina, a qual aquele substituiu parcial ou integralmente de acordo com o tratamento. Entretanto, o módulo de finura do material garante que sua granulometria não prejudique o desempenho do CAA. Barros (2008) afirma que o excesso de agregados miúdos com módulo finura menor que 2,6mm torna a mistura muito pesada, o que prejudicaria a bombeabilidade devido à alta coesão e fricção produzidas no tubo de bombeamento.

3.1.5 Aditivos

Os aditivos superplastificantes são amplamente utilizados para diminuir a relação a/c, fissuras e retrações, assim como para aumentar a impermeabilidade, durabilidade e o módulo de elasticidade (BRANCO, 2012).

Nos traços desenvolvidos foi testada a proporção de 1%, em relação à massa de cimento, de superplastificante, mas houve segregação, logo foi necessário dosar experimentalmente a quantidade de aditivo.

O aditivo utilizado foi o Tec Flow 7030 , à base de policarboxilatos. De acordo com o fabricante o aditivo atende a NBR 11768/2011 – Tipo SP II / N/A/R.

3.1.6 Água

A água utilizada foi do próprio laboratório de materiais, água potável fornecida pela rede pública, onde se desenvolveu o experimento, na UTFPR-Toledo.

3.2 MÉTODOS

Todas as moldagens e ensaios foram desenvolvidos no laboratório de materiais da UTFPR-Toledo de acordo com as normas vigentes, excetuando-se os ensaios de trabalhabilidade para o estado fresco e a determinação da resistência, absorção e módulo de elasticidade no estado endurecido.

3.2.1 Dosagem do concreto

O traço referência foi baseado no estudo desenvolvido por Branco (2012), o qual foi alterado, quando necessário, de acordo com os testes de trabalhabilidade. Os outros três traços estudados são com substituição da areia natural por RC nas proporções de 35, 40 e 45%. Para todos os traços foram feitos testes no estado fresco e no estado endurecido.

Depois de realizados os ajustes necessários que permitiram ao CAA dosado passar pelos testes do estado fresco, foram moldados seis corpos de prova para cada idade, sendo de 7, 14, 28 e 56 dias, somando 96 corpos de prova e mais seis corpos para o módulo de elasticidade aos 28 dias, totalizando 120 corpos de prova.

3.2.2 Traço Referência

O Traço referência desenvolvido pelo método Tutikian (2004), apresentado no Anexo A, consiste na dosagem para Concreto Convencional Vibrado (CCV) (IPT/EPUSP) o qual é ajustado até se tornar um concreto autoadensável.

Na Tabela 6, apresenta-se o TR desenvolvido por Branco (2012), o qual norteou o trabalho em questão.

Tabela 6- Proporções para o traço referência

	Traço 1:m	1:4
Parâmetros de Dosagem	Teor de argamassa (%)	60%
	Cimento (Kg/m ³)	452,00
	Areia Média Fina (Kg/m ³)	541,25
	Areia Fina (Kg/m ³)	361,25
	Brita (Kg/m ³)	900
	Água (kgm ³)	196,87
	Relação a/c (Kg/Kg)	0,43
	Superplastificante (% sobre massa de cimento)	1

Fonte: Branco (2012)

De acordo com o traço apresentado na Tabela 6 o aditivo corresponde a 1% da massa de cimento. Entretanto, para os traços desenvolvidos foi necessário determinar experimentalmente a quantidade de aditivo, pois com 1% houve segregação.

3.2.3 Traços Experimentais

Nos traços experimentais foram analisadas as porcentagens de 35, 40 e 45% para o traço de 1:4,5 com substituição do agregado miúdo por RC com granulometria média.

Todos os traços tiveram o teor de argamassa seca de 60%, pois segundo Tutikian (2004), para que vários traços de concreto sejam considerados da mesma família, podendo haver comparação, estes devem ter o mesmo teor de argamassa seca.

A quantidade de água acrescentada em cada traço seguiu a mesma proporção dos traços desenvolvidos por Branco (2012), contudo, a quantidade de aditivo necessária foi inferior sendo dosado de forma experimental, começando com 0,5% da massa de cimento e sendo acrescido de 0,05% a cada teste, até se obter os valores necessários nos teste para o estado fresco conforme a NBR 15823:2010.

3.2.4 Testes para o estado fresco

O CAA tem suas características principais, que o diferencia do concreto convencional, comprovadas por teste no estado fresco regidos pela NBR 15823:2010.

Os ensaios servem para comprovar sua trabalhabilidade, resistência à segregação e habilidade passante.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), cada teste, para o estado fresco, tem sua eficiência maior ou menor conforme a Tabela 7 apresentada a seguir.

Tabela 7- Ensaio para avaliação da trabalhabilidade do CAA

Ensaio	Utilização		Propriedades Avaliadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Habilidade Pas.	Coesão
<i>Slump Flow</i>	XXX	XXX	XXX	N	X
<i>Slump Flow T50</i>	XXX	XX	XXX	N	X
<i>V-Funnel</i>	XX	X	XX	N	X
<i>V-Funnel 5 min</i>	XX	X	X	N	XXX
<i>L-Box</i>	XX	X	N	XXX	
<i>U-Box</i>	XX	X	N	XXX	XX
<i>Fill-Box</i>	X	N	N	XX	XX
<i>U-Pipe</i>	X	N	X	N	XXX
<i>Orimet</i>	XX	X	XX	X	X
<i>J-Ring</i>	XXX	XXX	X	XXX	XX

XXX-altamente recomendável; XX-recomendável; X-pouco recomendável; N-Não relevante.

Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008).

Com base na Tabela 7, foram escolhidos os testes *Slump flow*, *Funnel-V* e *L-Box*, pois estes se apresentam como altamente recomendáveis quanto à fluidez, coesão e habilidade passante.

3.2.4.1 Slump flow test

Segundo Rambo (2009) o *slump flow test* é uma união dos métodos utilizados para determinar a consistência do concreto comum, sendo estes o método descrito pela NBR NM 67:1988 – Determinação da consistência pelo abatimento do

tronco de cone; e o método da NBR NM 68:1998 – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff.

Este ensaio, criado no Japão para concretos submersos, serve para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar (TUTIKIAN, 2004).

Seguiu-se o método descrito por Rambo (2009), Gomes e Barros (2009), os quais apresentam os seguintes procedimentos:

- a) Preencher o cone de Abrams até o topo sem qualquer compactação, o qual deverá estar previamente umedecido e apoiado sobre uma chapa metálica nivelada também umedecida.
- b) Uma vez preenchido o cone, o mesmo deve ser erguido verticalmente deixando o concreto fluir livremente sobre a superfície da chapa. O cronômetro é disparado simultaneamente à retirada do cone.
- c) Cessado o espalhamento do concreto, medem-se, com uma régua ou trena, dois diâmetros perpendiculares e calcula-se a média desses, que é denominado diâmetro final de espalhamento.

De acordo com a NBR 15823:2010 os valores a serem atingidos variam conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Classe de espalhamento

Classe	Espalhamento	Método de Ensaio
SF1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
SF2	660 a 750	
SF3	760 a 850	

Fonte : NBR 15823:2010

O valor do *slump flow* foi determinado conforme a Figura 5 para todos os tratamentos.



Figura 5- Medida do *slump flow*.

Após retirar o cone foi registrado o diâmetro do espalhamento atingido pelo concreto sobre a placa de ferro conforme Figura 5.

O aditivo foi dosado buscando atingir um slump de no mínimo 550mm como é estipulado pela NBR 15823-2.

3.2.4.2 V-Funnel

Este ensaio de acordo com Gomes e Barros (2009) é utilizado para medir a segregação e a capacidade do material fluir através do estreitamento de uma seção, apenas sob a ação de seu peso, simulando assim situações em que o concreto precise passar por lugares pequenos.

As etapas necessárias para a realização desse ensaio estão descritas a seguir:

- a) O Funil-V é posicionado verticalmente em uma superfície plana e regular, umedecido e fechado;
- b) Com o funil fechado este é preenchido com o CAA sem nenhum tipo de compactação, e são necessários aproximadamente 10 litros de concreto;

- c) Após 15s o funil é aberto e simultaneamente dispara-se o cronômetro, o qual só é parado quando, olhando da abertura superior, a passagem inferior está completamente visível. Esse tempo decorrido é chamado de Funil-V (Tv).

Segundo a NBR 15823:2010 de acordo com os valores obtidos neste teste pode-se classificar o CAA conforme a Tabela 9.

Tabela 9- Classe de viscosidade plástica aparente T500

Classe	Funil V	Método de Ensaio
VF1	<9	ABNT NBR 15823-5
VF2	9 a 25	

Fonte : NBR 15823:2010

Para este teste buscou-se atingir valores inferiores a 25s para que assim fosse possível uma classificação dentro da NBR 15823-5.

3.2.4.3L-Box

Este é o ensaio no qual é medida a fluidez do concreto, bem como sua capacidade de transpor obstáculos que estejam em seu percurso. O equipamento utilizado consiste em uma caixa em formato de L, a qual possui uma portinhola que aprisiona o concreto na parte vertical do aparelho e depois o libera. O objetivo do teste é verificar se o CAA é capaz de passar por três barras metálicas verticais, simulando assim, situações que podem ser encontradas em obra.

Este ensaio é realizado pelo seguinte método:

- A Caixa-L é colocada em uma posição estável e horizontalmente nivelada. O interior do equipamento deve ser umedecido.
- O trecho vertical da Caixa-L é preenchido com a amostra de aproximadamente 12 litros de CAA e esperam-se em torno de 30 segundos para verificar se este apresenta algum sinal de segregação.
- Levanta-se a porta deslizante para deixar o concreto fluir do trecho vertical para o horizontal da Caixa-L.

- d) Dois cronômetros são acionados no momento em que a porta é aberta. Um dos cronômetros é parado quando o concreto atinge a marca de 20 cm no trecho horizontal, em relação à abertura de passagem do concreto, e, o outro, quando a marca horizontal de 40 cm é alcançada. Essas duas medidas de tempo são denominadas T20 e T40, respectivamente.
- e) Quando o concreto cessa o movimento, é medida a altura do concreto no final do trecho horizontal (H2) e a altura do concreto remanescente do trecho vertical (H1) da Caixa-L.

O cálculo da relação de bloqueio (RB) se dá através da equação (1):

$$RB = \frac{H2}{H1} \quad (1)$$

De acordo com Gomes e Barros (2009) a relação RB para o CAA deve ser $RB \geq 0,8$.

Para classificar de acordo com a NBR15823:2010 são apresentados os valores na Tabela 10.

Tabela 10- Classes de habilidade passante Caixa L

Classe	Caixa L (H2/H1)	Método de Ensaio
PL1	$\geq 0,80$ com duas barras de aço	ABNT NBR 15823-4
PL2	$\geq 0,8$ com três barras de aço	

Fonte : NBR 15823:2010

3.2.5 Testes para o estado endurecido

Após a produção do teste referência e dos traços com substituição de areia por resíduo de concreto, foram realizados os testes para o estado endurecido.

3.2.5.1 Resistência à compressão

O teste de resistência à compressão seguirá a NBR 5739:2007.

Para realização do teste de compressão foi necessário que os corpos de prova fossem moldados, capeados e ensaiados de acordo com as normas vigentes.

Para a moldagem dos corpos de prova de CAA não é necessário que se faça o adensamento, assim sendo a moldagem se resume a colocar o concreto dentro do molde em três camadas. Para tanto, utiliza-se apenas os moldes e a concha.

Foram moldados seis corpos de prova, cilíndricos de 10x20cm, para cada idade.

Após a cura em água, os corpos de prova foram retificados conforme a NBR 5738:2007.

Os corpos de prova foram rompidos na Máquina Universal de ensaios de acordo com a já citada norma vigente. Os valores de resistência foram retirados do relatório gerado pela máquina, mas podem ser obtidos dividindo-se a carga de ruptura pela área de seção transversal.

3.2.5.2 Modulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é uma relação entre a tensão aplicada e a deformação elástica ocorrida, sendo esta eliminada caso a tensão seja removida. Segundo Betagin (2008) o seu valor é utilizado para caracterizar a deformabilidade do concreto no cálculo de pavimentos e estruturas, na determinação da idade de retirada de escoramentos.

A necessidade de conhecimento do módulo de deformação do concreto surgiu em decorrência de problemas estruturais em prédios, em virtude de deformações lentas e fluência. (BARBOSA E GEYER (2010))

Para realização deste teste é necessário seguir o seguinte procedimento descrito na NBR 8522:

- a) Os corpos de prova ou testemunhos de concreto devem ser cilíndricos, preparados de acordo com a NBR 5738 ou NBR 7680,

mantendo sempre a proporção de comprimento igual a duas vezes o diâmetro.

- b) Determinar a média de duas medições ortogonais de diâmetro. Determinar a média de duas medições opostas da altura.
- c) Marcar duas geratrizes diametralmente opostas no corpo de prova e sobre elas fixar os medidores de deformação. Em cada geratriz, os pontos de medida devem estar afastados entre si de $2/3$ a uma medida do diâmetro e igualmente afastados da base e do topo.
- d) Determinar a resistência à compressão de dois corpos de prova do mesmo lote em que foi medido o módulo de elasticidade. Adotar a média como a resistência estimada.
- e) Colocar o corpo de prova preparado no centro dos pratos da prensa e aplicar carregamento à velocidade de $(0,25 - 0,05)$ MPa/s, até se atingir uma tensão de 40% da resistência estimada do concreto (T_b), que deve ser mantida por 60 s.
- f) Reduzir a carga à mesma velocidade até o nível de tensão básica, que é de 0,5 MPa (T_a). Repetir o ciclo mais duas vezes.
- g) Depois do último ciclo e do período de 60 s sob a tensão T_a , registrar as deformações lidas no medidor (D_a), em até 30 s.
- h) Carregar novamente o corpo-de-prova até a tensão T_b , esperar 60 s e registrar as deformações lidas (D_b), em até 30 s.
- i) Aumentar o carregamento à velocidade especificada até a ruptura do corpo-de-prova. Se a resistência efetiva diferir da resistência estimada em mais de 20 %, os resultados devem ser descartados.

Os valores de modulo de elasticidade (E_{ci}) podem ser obtidos pela equação

(2).

$$E_{ci} = \frac{T_b - T_a \times 10^3}{D_b - D_a} (GPa) \quad (2)$$

Foram moldados seis corpos de prova para cada traço para os quais se analisou o modulo de elasticidade aos 28 dias.

3.2.5.3 Absorção

A NBR 9778:2005 determina que para realização do teste de absorção siga-se as seguintes etapas:

- a) Determinar a massa da amostra ao ar e mantê-la em estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Determinar a massa da amostra após permanência na estufa de 24 h, 48 h e 72 h.
- b) Resfriar a amostra ao ar seco à temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, e determinar a massa.
- c) Para referência, registrar a massa da amostra após 72 h de permanência na estufa.

Sendo a absorção determinada pela Equação (3).

$$A = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{s}}}{M_{\text{s}}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado

M_{s} = massa do corpo de prova seco em estufa

Foram utilizados três corpos de prova de cada traço para determinar a absorção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRAÇOS

Devido à grande quantidade de finos dos materiais utilizados optou-se no desenvolvimento dos traços variar a quantidade de aditivo ao invés da água, de modo a garantir sua aprovação nos testes de estado fresco. O fato se justifica pela tendência de perda de resistência com o acréscimo de água.

A Figura 6 apresenta a diferença entre a mistura antes e depois da adição do superplastificante.



Figura 6- Comparação entre a mistura antes (a) e depois (b) da adição de superplastificante.

A Tabela 11 apresenta a dosagem de cada material utilizado na composição dos traços produzidos em laboratório.

Tabela 11- Composição dos traços desenvolvidos em laboratório.

Traço	Cimento (Kg)	Fina (Kg)	Ar. Média (Kg)	Rc (Kg)	Brita (Kg)	Água (L)	Aditivo (g)	Massa Esp.	A/C	Traço em Volume
TR	7,22	5,78	8,66	0,00	14,44	3,15	46,93	2,336	0,436	1:0,68:1,05:0:1,84
T35	7,22	0,72	8,66	5,06	14,44	3,24	50,54	2,231	0,448	1:0,08:1,04:0,60:1,84
T40	7,22	0,00	8,66	5,78	14,44	3,25	61,37	2,349	0,450	1:0:1,03:0,69:1,84
T45	7,22	0,00	7,94	6,50	14,44	3,26	64,98	2,223	0,451	1:0:0,95:0,78:1,84

A Figura 7 apresenta o resultado do *slump flow* para o traço referencia testado com 1% de superplastificante, como indicado por Branco (2012).



Figura 7- TR com 1% de aditivo.

Por meio da Figura 7 é possível verificar que com 1% de aditivo (em relação à massa de cimento) houve segregação do material. A partir deste resultado o aditivo foi dosado de forma experimental, a fim de evitar a segregação descrita.

4.2 TESTES PARA O ESTADO FRESCO

Para realização dos testes no estado fresco foram confeccionados os equipamentos já descritos de acordo com as medidas apresentadas no Anexo C, sendo o Funil-V, *Slump flow* e caixa L, os quais são apresentados, respectivamente, na Figura 8.



Figura 8- Funil-V, *Slump flow* e Caixa L, confeccionados para realização dos testes.

Por meio do emprego dos equipamentos confeccionados foram realizados os testes os quais tem seus resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12- Resultados dos testes no estado fresco para cada tratamento.

Traço	Funil-V (s)	Caixa L			Slump flow (mm)
		RB H2/H1	T20 (s)	T40 (s)	
TR	6,37	0,833	0,48	0,78	630
T35	8,1	0,875	0,41	1,61	590
T40	6,68	0,857	0,8	0,9	720
T45	8,6	0,875	0,48	1,13	600

Estes resultados classificam todos os traços produzidos nas mesmas categorias sendo SF1, VF1 e PL2 de acordo com a NBR15823:2010.

Os resultados obtidos no slump flow corroboram com todos os autores citados no Anexo B; para Funil V foram encontrados valores semelhantes aos obtidos por EFERNAC (2002), Araujo et.al (2003) e Peterssen (1999); já para caixa L todos os autores, exceto Coppola (2000) o qual obteve uma relação de 0,9 os demais obtiveram relações próximas.

A classificação da NBR 15823:2010, com relação à classe de espalhamento (super flow), permitiria aos traços produzidos sua utilização em estruturas não armadas ou com baixa taxa de armaduras e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre, concreto autoadensável bombeado; estruturas que exigem uma curta distância de deslocamento horizontal do concreto autoadensável.

Já a classe de viscosidade (Funil-V) na qual os traços estudados se encontram indica que estes seriam, segundo a norma vigente, adequados ao uso em elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e segregação; e Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.

Com relação à habilidade passante (Caixa L), a classificação obtida indica que a norma considera para todos os traços a aplicação adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamento entre 60mm e 80mm.

4.3 TESTES PARA O ESTADO ENDURECIDO

De modo a respaldar a análise de viabilidade dos traços confeccionados são apresentados a seguir os resultados obtidos nos ensaios de estado endurecido.

4.3.1 Resistência à compressão

Após moldados seis corpos de prova para cada idade de tratamento, estes forma mantidos imersos em água até o dia do ensaio de rompimento, conforme Figura 9.

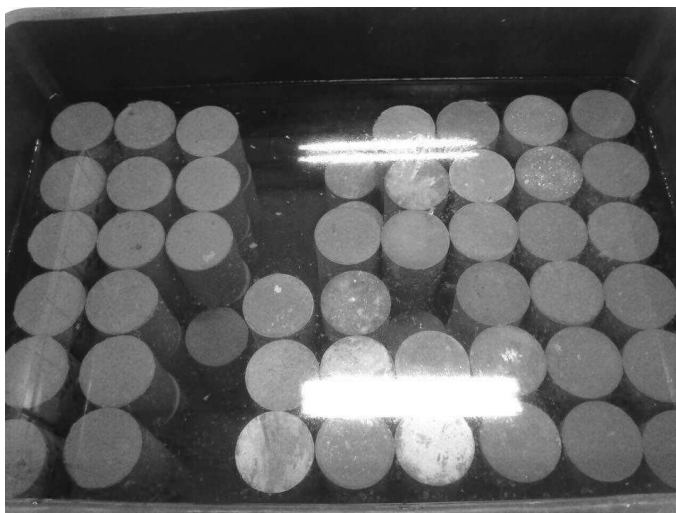


Figura 9 – Cura dos corpos de prova.

O ensaio e comportamento dos corpos de prova, no momento do teste de resistência mecânica em máquina universal, pode ser visualizado na Figura 10.



Figura 10- Corpo de prova submetido a ensaio mecânico em máquina Universal.

As médias dos seis corpos de prova obtidas no ensaio de resistência são apresentadas na Tabela 13, juntamente com o coeficiente de variação dos resultados.

Tabela 13- Média das resistências à compressão nos diferentes períodos de cura e seu coeficiente de variação.

Traço	Sete dias		14 dias		28 dias		56 dias	
	(MPa)	Coeficiente de Variação %	(MPa)	Coeficiente de Variação %	(MPa)	Coeficiente de Variação %	(MPa)	Coeficiente de Variação %
TR	48,12	2,7	50,56	5,6	53,33	6,4	55,14	4,3
T35	33,97	2,0	34,756	2,9	37,2	8,4	45,42	4,0
T40	30,11	8,9	36,61	9,5	44,90	11,1	56,06	4,2
T45	29,41	9,4	31,37	7,6	33,68	5,0	42	7,5

Os valores obtidos no ensaio de resistência para cada corpo de prova é apresentado no Anexo D. As médias apresentadas na Tabela 13 demonstram que os resultados de resistência obtidos para os seis corpos de prova produzidos para cada idade são de fato homogêneos entre si, pois conforme considerado por Reis e Reis (2002) coeficientes de variação inferior a 25% definem amostras homogêneas.

A Figura 11 demonstra o comportamento da resistência à compressão nos diferentes períodos de cura. É possível observar que o traço referência manteve-se acima de todos os traços até os 56 dias, quando foi superado pelo traço com adição de 40% de RC.

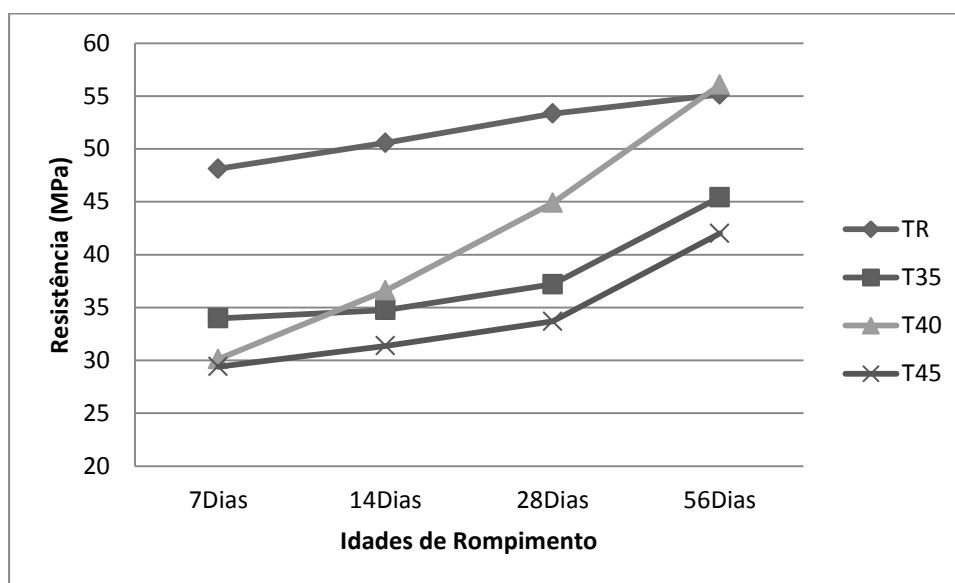


Figura 11- Crescimento da resistência à compressão.

Esse resultado sugere que a inserção de RC, na proporção de 40%, proporcionou um melhor empacotamento dos componentes obtendo assim uma massa com menos vazios. McGEARY, (1961) *apud* BARBOSA (2008) define o fenômeno do empacotamento de partículas em função da proporção e do tamanho adequado dos materiais utilizados na composição do traço, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores. Sendo assim, um material com densidade de empacotamento teórica máxima possuiria ausência de vazios.

Ainda em relação à Figura 11, as curvas de crescimento apresentam uma variação de 13% na resistência do traço referência, 25% para o T35, 46% para T40 e 30% para T45. Essa variação foi superior à obtida por Banco (2012) onde o traço médio de granulometria fina e com 40% de substituição obteve a maior variação, a qual foi de 14%.

Essa variação dos traços estudados pode ser explicada devido à temperatura nos dias de confecção dos traços, a qual variou de 30 a 1°C, sendo o traço T40 o mais afetado, pois foi confeccionado no dia de menor temperatura.

Silva *et al.* (2009) afirmam que a temperatura é um dos fatores de influência no ganho de resistência do concreto. Romero (2012) acrescenta que durante o inverno, é relativamente frequente o retardamento de pega do concreto e as consequentes quedas das resistências nas idades iniciais. Para Laguna e Ikematsu (2010) ao se trabalhar com temperaturas abaixo de 15°C gera-se o efeito chamado “baixo nível de calor de hidratação” o que gera um retardamento das resistências iniciais.

Os resultados aqui encontrados são inferiores aos obtidos por Branco (2012), mesmo tendo as mesmas proporções. Esse fato deve-se a um efeito mencionado por Cavalcanti (2006), o qual é causado pela adição de aditivo. O autor afirma que a incorporação de superplastificante em pastas, argamassas ou concretos provoca alterações nas propriedades e características da mistura, como a hidratação, aumento da porosidade, morfologia dos hidratos, evolução da resistência, fluidez, tempo de pega, retração, segregação e exsudação, dentre outras. Tais características podem ser influenciadas de forma positiva ou negativa na mistura.

Martin (2005), afirma que aditivos à base de policarboxilatos, como é o caso do TecFlow 7030 utilizado nesta pesquisa, possuem uma estrutura muito complexa e acabam por ter compatibilidade com um número restrito de matéria-primas, e caso não bem formulados tendem a incorporar ar.

No caso da porosidade, esta acaba por reduzir a resistência. Na Figura 12 é possível verificar a porosidade no interior do corpo de prova.



Figura 12 – Porosidade no interior do corpo de prova.

Na Figura 13 é possível visualizar a diferença entre um dos corpos de prova produzido com adição de aditivo e outro de concreto convencional sem aditivo. O concreto com aditivo apresenta uma porosidade maior que do concreto convencional.



Figura 13- Comparação entre o concreto com aditivo e um concreto convencional.

Outro fator que contribui para o aumento da porosidade é a ausência de adensamento, característica do CAA. Os valores de massa específica apresentados na Tabela 11 indicam que para o T40 ouve uma menor porosidade na mistura.

Através dos dados obtidos foram feitas as análises estatísticas apresentadas a seguir.

Tabela 14- ANOVA- 5% nível de significância.

Effect	Univariate Tests of Significance for Ensaio de Compressão (CONCRETOS.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	164875,7	1	164875,7	23386,25	0,000000
Tratamento	4237,5	3	1412,5	200,35	0,000000
Dias de Cura	2745,5	3	915,2	129,81	0,000000
Tratamento*Dias de Cura	734,4	9	81,6	11,57	0,000000
Error	564,0	80	7,1		

De acordo com a Tabela 14 é possível verificar que o planejamento fatorial 2^4 com seis repetições foi significativo. Indicando que o tempo de cura depende também do teor de resíduo incorporado no concreto. Os dados experimentais são explicados pelo modelo com $R^2 = 0,932$. O que é muito bom, quando colocamos em termos de uma função matemática prevista pelo modelo o $R^2 = 0,919$. Sendo aceito valores acima de 0,85.

A Figura 14 apresenta o gráfico Pareto o qual indica qual foi o efeito do fator no experimento: Assim sendo quanto maior o valor numérico mais efeito sobre o experimento. Valores acima do tracejado indica significância.

No gráfico de Pareto, quando os valores são negativos indicam que quanto menor o teor do resíduo, maior a resistência à compressão. Já para os dias de cura, o resultado indica que quanto mais dias de cura, maior é a resistência.

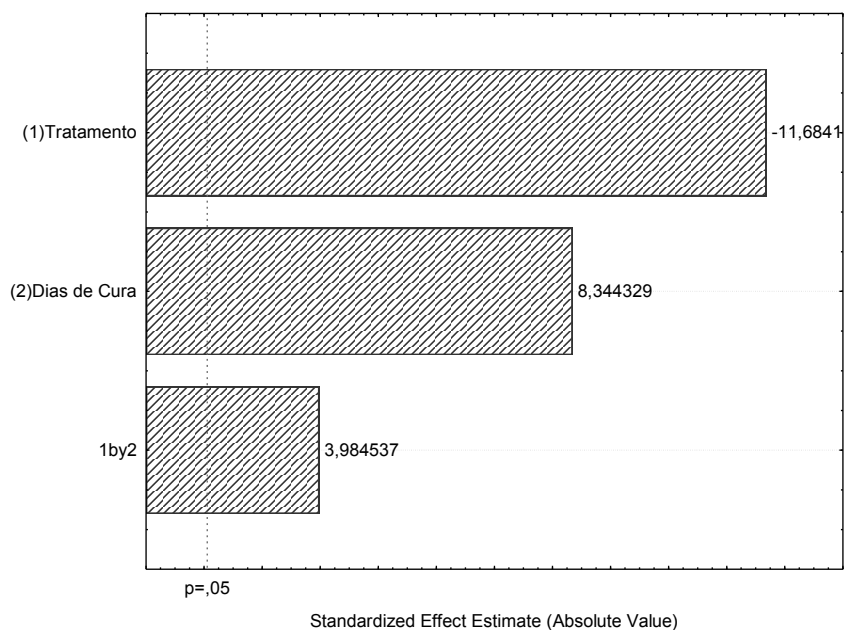


Figura 14- Gráfico de Pareto.

O Gráfico na Figura 15 apresenta as tendências do material quanto à relação do teor de resíduo e os dias de cura.

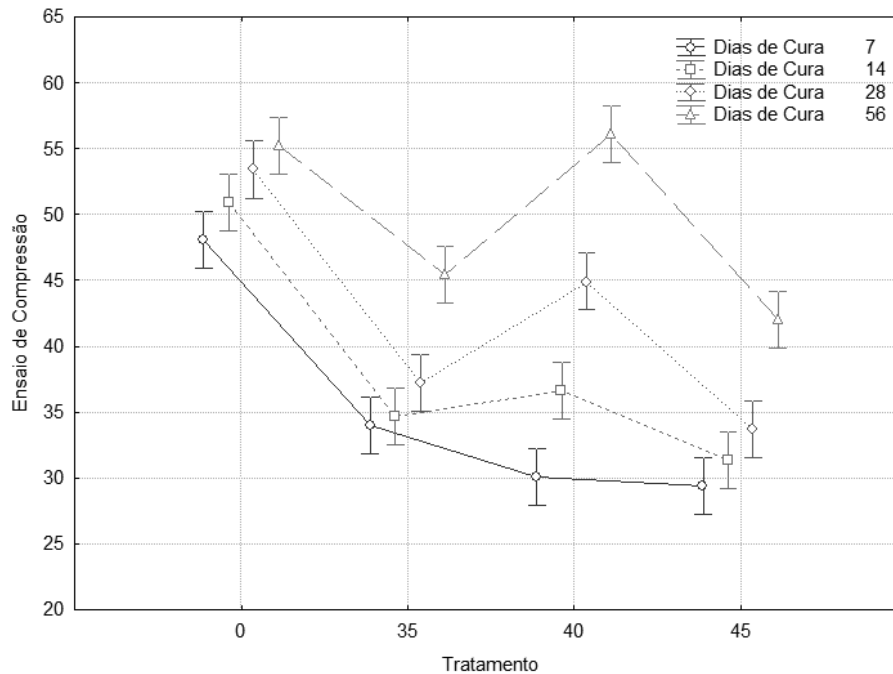


Figura 15- Avaliação do Teor de Resíduo em relação aos dias de Cura.

Assim sendo através da Figura 15 é possível aferir que o teor de 40% se torna tão resistente quanto à Referência após 56 dias de cura. O T40 é o único que se iguala à referência.

Tabela 15- TESTE DE MÉDIAS – TUKEY – 5% de nível de significância

Tukey HSD test; variable Ensaio de Compressão (CONCRETOS.sta) Homogenous Groups, alpha = ,05000 (Non-Exhaustive Search) Error: Between MSE = 7,0501, df = 80,000											
Cell No.	Tratamento	Dias de Cura	Ensaio de Compressão Mean	1	2	3	4	5	6	7	8
13	45	7	29,41000	****							
9	40	7	30,11167	****							
14	45	14	31,36667	****	****						
15	45	28	33,68333	****	****	****					
5	35	7	33,96500	****	****	****					
6	35	14	34,71333	****	****	****					
10	40	14	36,60667		****	****	****				
7	35	28	37,20000			****	****				
16	45	56	42,00000				****	****			
11	40	28	44,90167					****	****		
8	35	56	45,42000					****	****		
1	0	7	48,11500						****	****	
2	0	14	50,87500							****	****
3	0	28	53,41000							****	****
4	0	56	55,23667								****
12	40	56	56,06000								****

Pela Tabela do Teste Tukey, os asteriscos em cada coluna enumerada não se diferenciam entre os tratamentos. Verifica-se assim que os melhores tratamentos são as células 2, 3, 4 e 12. Somente o tratamento com 40% de resíduo e tempo de cura é comparável à referência. Enquanto que para referência a partir de 14 dias já está estabilizado, no entanto para com 40%, apresenta maior resistência, mas somente a partir de 56 dias. Assim sendo estatisticamente o valor obtido para o teste de resistência aos 56 dias para o T40 se igual aos valores obtidos para 14, 28 e 56 dias do TR.

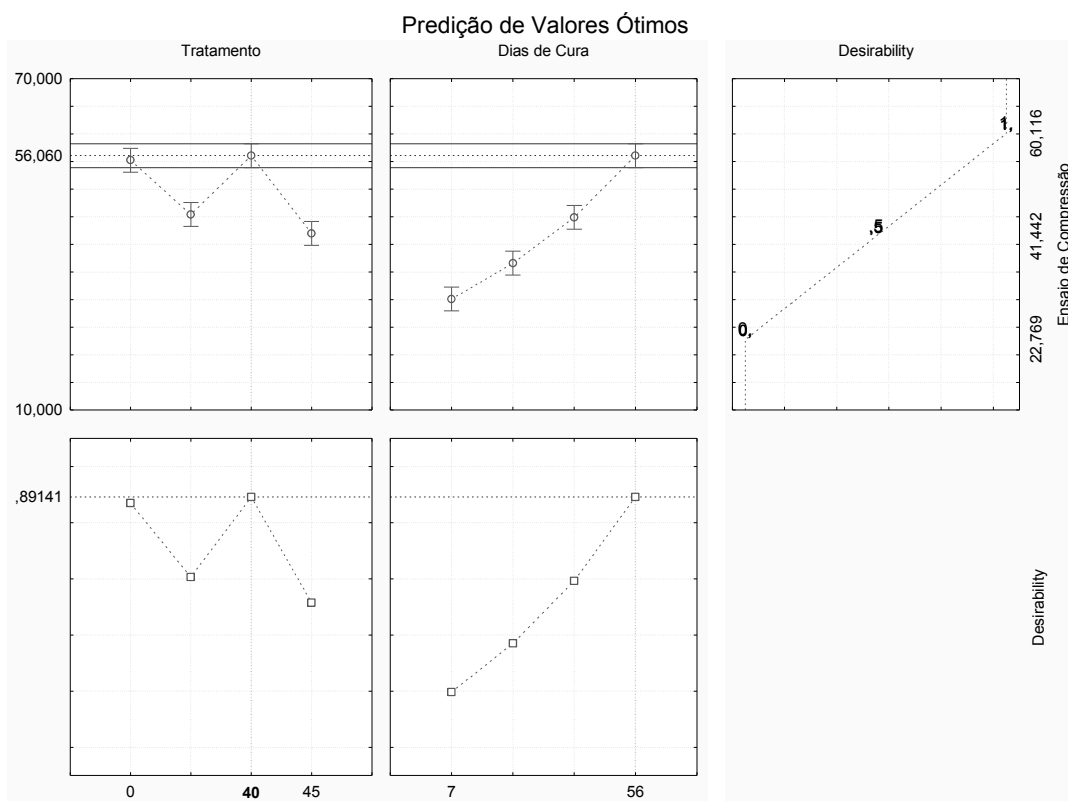


Figura 16- Predição de Valores Ótimos.

Valores ótimos são preditos para a referência e 40% de resíduos para 56 dias de cura. Já na Figura 17 o Gráfico 3D, modelo quadrático, apresenta as zonas quentes como sendo os melhores resultados.

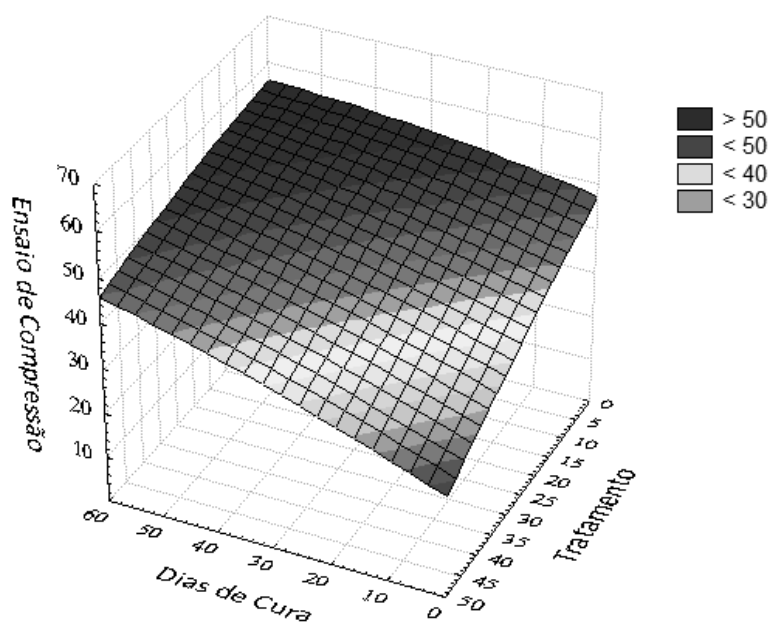


Figura 17- Gráfico 3D – Modelo estriado

É possível verificar que os valores de resistência e porcentagem de resíduo são inversamente proporcionais, já os dias de cura são proporcionais ao ganho de resistência.

Leite (2001) também obteve bons resultados com a inserção de resíduos de agregado miúdo e graúdo reciclados, na produção de concreto, tendo concluído que esta aplicação é viável.

Levy (2001) analisou concretos com utilização de RCD quanto a sua durabilidade e concluiu que a utilização de até 20% de resíduo de concreto e alvenaria em substituição ao agregado natural, não afetam o concreto produzido.

Para Vieira, Dal Molin e Lima (2004), os quais estudaram a resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição para três relações água/cimento, e variou a porcentagem de substituição de resíduo de 0 a 100% do agregado natural, estes verificaram que quanto maior o percentual de substituição do agregado miúdo reciclado, maior a resistência à compressão. Segundo estes autores as características desses agregados, como textura e granulometria, influenciam positivamente o aumento da resistência, pois os agregados reciclados que foram utilizados apresentam um grande percentual de finos que ajudam a mistura a ter um efeito de empacotamento, de compactação e proporcionam um maior fechamento dos vazios.

4.3.2 Absorção

Foram determinados os valores de absorção, os quais estão representados na Figura 18.

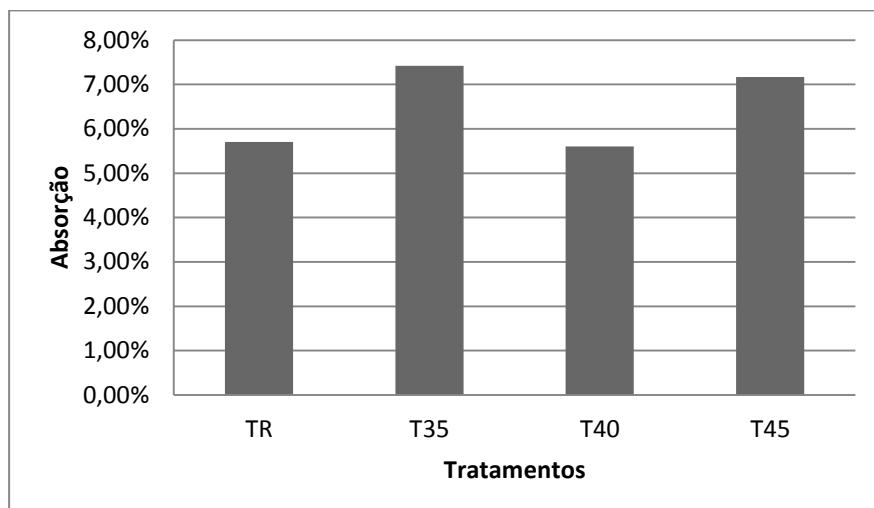


Figura 18- Taxa de absorção para cada tratamento.

Para o traço referência a absorção foi de 5,7%, já para os traços com 35% e 45% de resíduos os valores encontrados foram de 7,42% e 7,17% respectivamente, sendo o T40 o traço que obteve a menor porcentagem de absorção, sendo de 5,6%.

Os resultados do teste de absorção concordam com o resultado de resistência e reforçam a hipótese de melhor empacotamento das partículas no tratamento de 40% de RC, pois sugere um menor índice de vazios, o que aumentaria a massa específica e melhoraria a resistência.

Sentena e Kazmierczak (2010), também concluíram que quanto menor a resistência à compressão do concreto reciclado, maior é a porosidade do resíduo e maior é a absorção dos concretos com resíduos.

Sato (2000) afirma que a taxa de penetração de água é muito importante por estar relacionada à taxa de transporte de agentes agressivos os quais são absorvidos devido à permeabilidade do concreto, pois somente através da umidade é que os agentes são transportados para o interior do concreto podendo levar a corrosão da armadura. Sendo assim, os traços estudados se mostraram com uma absorção excessiva o que prejudicaria sua utilização.

4.3.3 Módulo de Elasticidade

Os valores de módulo de elasticidade obtidos para cada tratamento são apresentados na Figura 15.

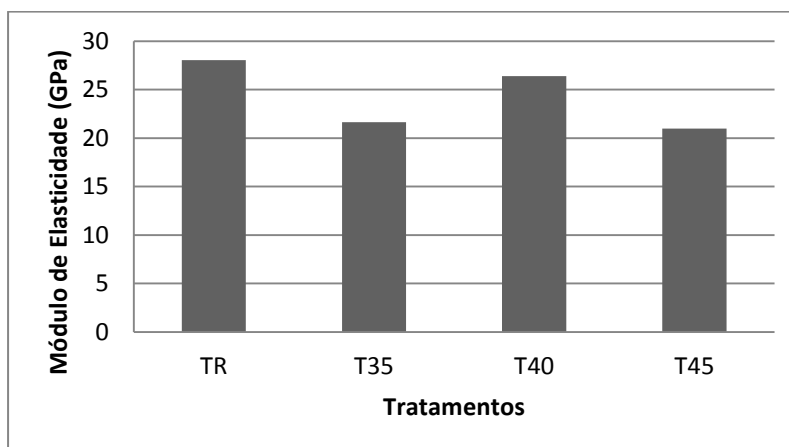


Figura 19- Módulos de Elasticidades para cada tratamento.

Conforme Figura 15, o traço que obteve maior valor para o módulo de elasticidade foi o TR, o qual não possui adição de RC, com 28,03 GPa, seguido pelo traço com 40% de substituição da areia fina o T40 com 26,38 GPa, já os valores obtidos para os traços de 35 e 40%, foram muito próximos com 21,63 e 20,98 GPa respectivamente.

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que os resultados de módulo de elasticidade estão diretamente ligados à porosidade do agregado e ao tamanho, forma e textura das partículas. Assim sendo, os resultados obtidos corroboram com estas afirmações, tendo em vista que segundo Leite (2011) o RC possui como características a alta porosidade e diferenças de forma e textura superficial, o que prejudica os resultados quando comparados ao TR.

Schulz e Hendricks (1992) encontraram diferenças significativas no resultado do módulo de elasticidade quando da comparação entre concreto com agregado reciclado e o convencional. Segundo os autores, concretos com RC podem apresentar valores de 43% a 50% menores que os convencionais.

Mendes (2015) também concluiu que o CAA apresenta valores de módulo de elasticidade menores que do concreto convencional, fato este que é explicado por Proske e Graubner (2005), pois, segundo estes autores, o módulo de elasticidade está diretamente relacionado com a rigidez dos agregados. Logo, quando há uma diminuição no volume de agregados para aumentar a quantidade de pasta, como ocorre no CAA devido a necessidade de fluidez, perde-se em elasticidade.

Os traços estudados apresentaram resultados inferiores ao do TR de 6,25% a 33,60% menores.

5 CONCLUSÃO

Através desta pesquisa foram obtidos os resultados, no estado fresco e endurecido, para diferentes traços de concreto autoadensável com substituição do agregado miúdo por resíduo de concreto de granulometria média.

Para o estado fresco foram avaliadas as propriedades de resistência à segregação, trabalhabilidade e habilidade passante. Os resultados obtidos permitiram classificar os tratamentos em SF1, VF1 e PL2 de acordo com a NBR15823:2010.

No estado endurecido avaliou-se a resistência à compressão, absorção e módulo de elasticidade. Entre todos os resultados o traço com melhor resistência à compressão em todas as idades foi o traço referência com exceção aos 56 dias onde obteve 55,14 MPa e foi superado pelo traço com 40% de adição o qual obteve 56,06 MPa. Os valores atingidos nos tratamentos estudados foram inferiores aos valores obtidos por Branco (2012) cujo estudo norteou este trabalho. Atribui-se essa diferença de resistência à alta porosidade que os corpos de prova apresentaram.

A porosidade confirmou-se com os resultados de absorção, onde o traço de 40% obteve o menor valor entre todos os tratamentos, sugerindo um melhor empacotamento das partículas.

Os valores de módulo de elasticidade encontrados para os traços foram de 28,03 GPa para o TR, o qual não possui adição de RC, seguido pelo traço com 40% de substituição da areia fina (T40) com 26,38 GPa. Já os valores obtidos para os traços de 35 e 40% foram muito próximos, com 21,63 e 20,98 GP respectivamente. Assim sendo, os valores obtidos para os traços com adição de resíduo foram de 6,25% a 33,60% menores que o valor obtido no traço referência.

Através destes resultados é possível aferir que o resíduo de concreto não prejudica o comportamento do concreto autoadensável no estado fresco. Pode ainda melhorar o desempenho mecânico do mesmo quando utilizado na proporção correta. Contudo, o concreto autoadensável se mostrou sensível à adição do aditivo utilizado sendo necessário que se faça um estudo de dosagem mais aprofundado, visando à diminuição da porosidade.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **MB 3432** : Cimento Portland: Determinação da finura por meio da peneira 75µm (nº 200). Rio de Janeiro, 1991. p. 3.

_____. **MB 3433**: Cimento Portland: Determinação da água da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 1991. p. 3.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 15113** – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes- Aterro-diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15114** – Resíduos sólidos da construção civil: áreas de reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

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

_____. **NBR 15823**, 6 partes – Concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.

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

_____. **NBR 8522**, Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – absorção de água, índice de vazios e massa específica .2005 Versão Corrigida 2009.

_____. **NBR 9935** – Agregados-Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NM 23:** Cimento portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1998. p.4.

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

_____. **NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e dos espaços vazios.2002.

2014. p. 102-103.

ALMEIDA, S. L. M. SILVA, V. S. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados.** In: Anais do II SUFFIB –2005

BARBOSA, I. L.S.; GEYER, A.B. **Influência do agregados graúdos da Região de Goiânia no módulo de deformação tangente inicial do concreto.** In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. 2010.

BARBOSA, M. P. **Concreto fresco: influência do empacotamento de partículas e outros fatores. Introdução à ciência dos materiais aplicados à engenharia civil,** UNESP Ilha Solteira. 2008.

BARROS, P.G.D.S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito.** Universidade Federal de Alagoas.UFAL, Maceió. 2008.

BATTAGIN, I. L. D. S., **Módulo de Elasticidade do Concreto Normalização, fatores de influência e interface com o pré-moldado.** Superintendente do ABNT/CB-18. 28 de agosto de 2008.

BORGES, J.C *et.al.* **Avaliação da absorção de água de tijolos de concreto produzidos parcialmente com agregados reciclados.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Fortaleza–CE. 2009.

BRANCO, R. P. **Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável.**Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2012.

CAMARGOS, U. A. **Concreto Auto-Adensável e Autonivelante.** Técnica, São Paulo, n. 59, p. 04-05, fevereiro de 2002.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Universidade Federal de Alagoas. 2006.

com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente CONAMA**. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da União. Brasília, 05 jul. 2002.

Construído, Porto Alegre, v. 4, p. 47-63, 2004.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto autoadensável**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC. Fevereiro, 2002.

FERREIRA, S. R. **O Pensamento do ciclo da vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil A experiência do SindusCon-SP- São Paulo, 2005. Disponível em: **HYPERLINK** "http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Manual_Residuos_Solidos.pdf%20"

GOMES, P. C., & BARROS, A. R. **Métodos de Dosagem do Concreto Auto Adensável**. São Paulo: Pini Ltda., 2009.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. Dissertação para Pós-graduação em Engenharia Civil, 2008.

LAGUNA, L. A e IKEMATSU P. **Influência térmica na desforma do concreto**. Revista Prisma. 2010.

LEI 4.771/65. **Código florestal**. Brasília, 15 de setembro de 1965. Disponível em: HYPERLINK http://www.farsul.org.br/sindical/LEI_4771_65CodFlorestal_LA.htm
Acesso em 20 de março de 2016.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados com resíduo de construção e demolição**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.

LEVY, S.M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2001.

VIEIRA, G.L., DAL MOLIN. D. C. C., LIMA, F.B. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2004.

LISBÔA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 115p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil- Snduscon-CE. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Programa Qualidade de Vida na Construção. 2011

MARTIN, J. F. M. **Aditivos para concreto**. In: ISAIA, G. (Ed). Concreto : Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo. IBRACON. 2005.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1994, p. 573.

MELO, K.A. **Contribuição à dosagem do concreto auto-adensável com adição de Fíler calcário**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MESQUITA, E.; FROTA, C.; MARQUES, A.; MOREIRA, K.; COELHO, Francisco. **Avaliação das propriedades reológicas da pasta auto adensável com incorporação de resíduo de serragem de rochas ornamentais**. In: ENCONTRO

DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – ENICIT, 9., 2009, Fortaleza. Anais... Fortaleza: IFCE, 2009.

NUNES, Sandra Conceição Barbosa. **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades**. Pós- Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto. 2001.

OLIVEIRA, MÁRCIO J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 211 f. 2002. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

PROSKE, T. GRAUBNER, C. A. **Influence of the coarse aggregates on the concrete properties of SCC**. In: Annual Journal on Concrete and Concrete Structures, V. 20. Darmstadt, 2005.

RAMBO, D. A. **Estudo da trabalhabilidade do concreto autoadensável**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, 2009.

REIS, E. A. e REIS, I. A. **Análise Descritiva de Dados Síntese Numérica**. Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Exatas. Departamento de Estatística. Primeira Edição – Julho/2002

ROMERO, J. R. H. **Concretagem em tempo frio**. NEOMIX concreto, 2012.

SATO, N. M.N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. Connepi 2009.

SEMINÁRIO: **O uso da fração fina da britagem**. São Paulo, 2005.

SENTENA, J. A. A. PROF. DR. KAZMIERCZAK, C. S. **Absorção de água por capilaridade em concretos com agregados reciclados de concreto**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, 2010.

SILVA, N. G. BUEST, G. CAMPITELI, V. C. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: VI Simpósio Brasileiro de Argamassas, I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

SILVA, W. G. **Avaliação de concreto auto-adensável com agregado reciclado de telha cerâmica**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Uberlândia, 2012.

SLVA, A. J. C. **Influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do cimento Portland**. Anais do 51º Congresso Brasileiro de Concreto IBRACON 2009.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A.; SILVA, J. P. N. **Avaliação de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de construção**. In: 2o Workshop “Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”. Ilha Solteira – SP, 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A.; SILVA, J. P. N. **Avaliação de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de construção**. In: 2º Workshop “Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”. Ilha Solteira – SP, 2006.

TUTIKIAN, B. e. **Métodos de dosagem para concretos auto-adensáveis**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TUTIKIAN, B. F., & DAL MOLIN, D. C. **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo: Pini, 2008.

ULSEN, C., KAHN, H., ANGULO, S. C., & JOHN, V. M. **Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo**. Rem: Revista Escola de Minas, 339-346, 2010.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos VOTORANTIN CIMENTOS. Disponível em: <<http://www.votorantincimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cimento.htm>>.2016.

ANEXO A- Método de dosagem desenvolvido por Tutikian

Diagrama para aplicação do método de dosagem de Tutikian.

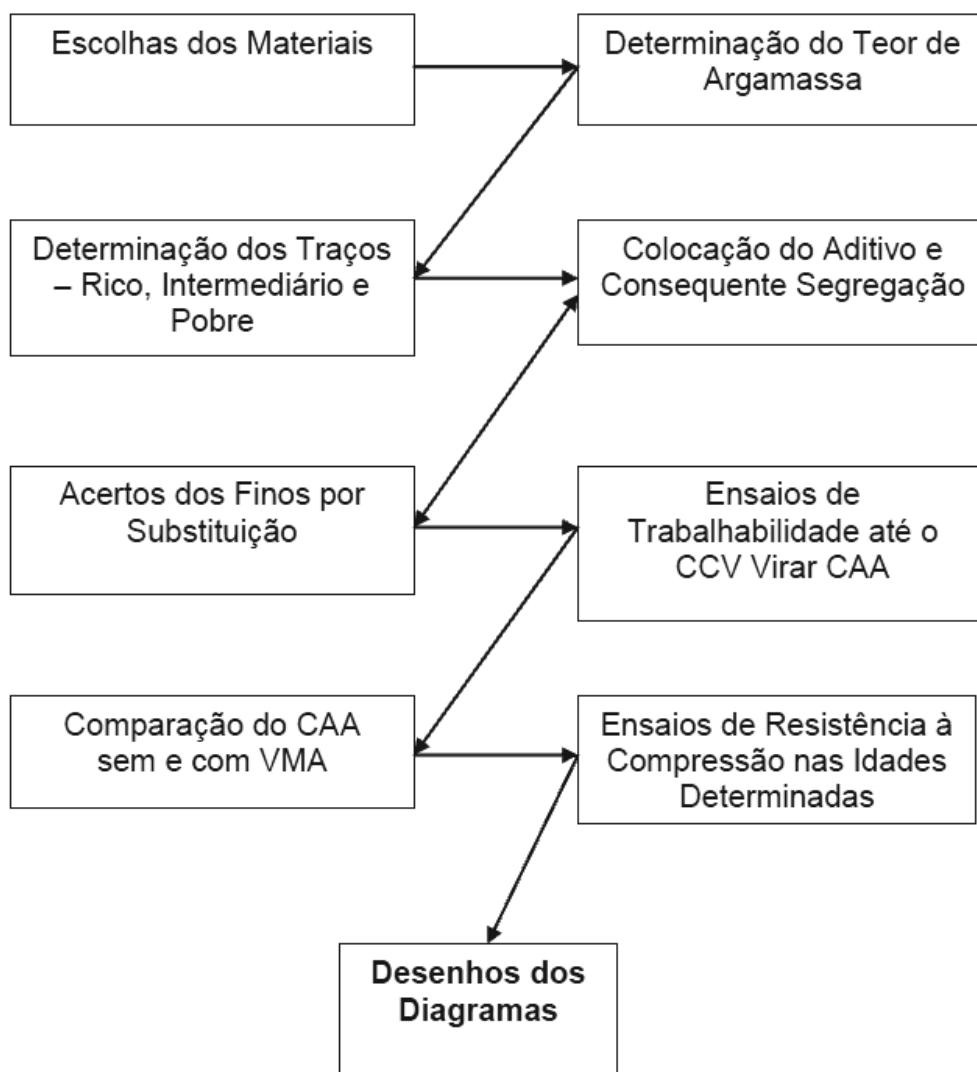


Figura 20- Método de dosagem Tutikian
Fonte: Tutikian (2004)

ANEXO B- Valores de referência para os testes no estado fresco

Tabela 16- Limites para o espalhamento no slump flow test.

Referências	Espalhamento (mm)	
	Mínimo	Máximo
EFENARC (2002)	650	800
Gomes (2002)	600	700
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	600	750
Araujo <i>et al.</i> (2003a)	650	800
Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003)	600	800
Barbosa <i>et al.</i> (2002)	550	700
Peterssen (1999)	650	725
Tviksta (2000)	600	-
Coppola (2000)	600	750
Palma (2001)	650	750

Fonte: TUTIKIAN (2004)

Tabela 17-Valores limites para o ensaio Funil-V

Referências	Tempo (s)	
	Mínimo	Máximo
EFENARC (2002)	6	12
FURNAS (2004a)	-	-
Gomes (2002)	10	15
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	7	13
Araujo <i>et al.</i> (2003a)	6	12
Noor e Uomoto (1999)	9,5	9,5
Peterssen (1999)	5	15
Coppola (2000)	-	-

Fonte : BRANCO (2012)

Tabela 18- Valores obtidos no ensaio da Caixa-L

Referências	Resultados		
	H2/H1	T20 (S)	T40 (S)
EFENARC (2002)	0,80	-	-
FURNAS (2004d)	-	-	-
Gomes (2002)	0,80	<1	<2
Gomes et al. (2003a)	0,8	0,5-1,5	2-3
Araujo et al. (2003)	0,8	-	-
Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003)	0,8	<1,5	<3,5
Peterssen (1999)	0,8	-	-
Barbosa <i>et al.</i> (2002)	-	-	-
Tviksta (2000)	0,85	-	-
Coppola (2000)	0,9	-	-
Palma (2001)	0,8	-	3-6

Fonte: Tutikian (2004)

ANEXO C- Dimensões dos aparelhos confeccionados

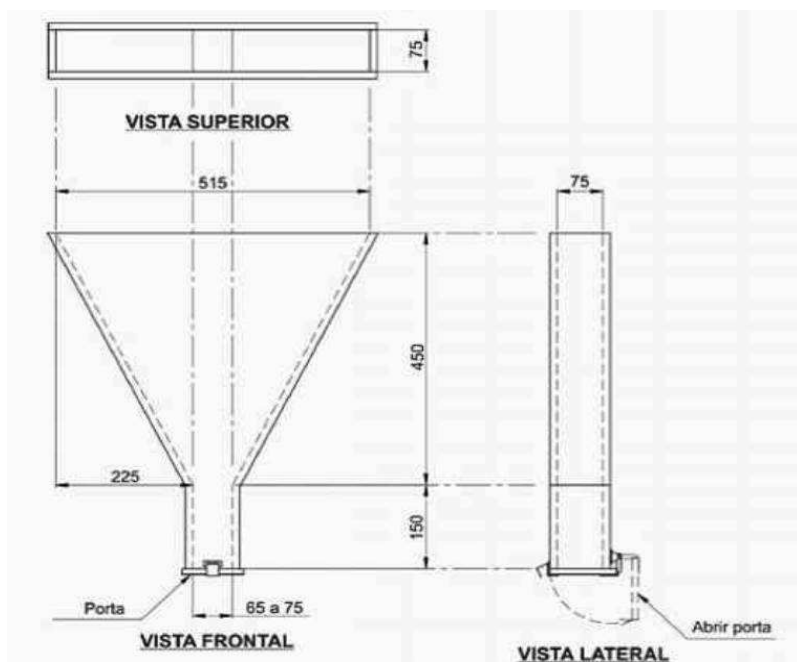


Figura 21: Dimensões do Funil-V
Fonte: TUTIKIAN (2004)

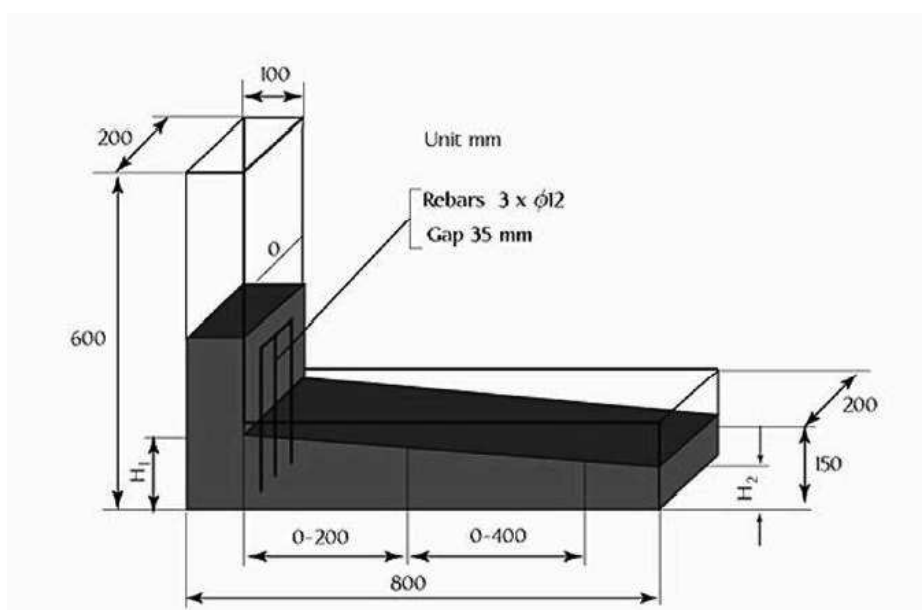


Figura 22: Dimensões Caixa-L
Fonte: EFERNAC, 2002.

ANEXO D- Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Tabela 19- Resultados obtidos para resistência à compressão.

Dias/Traço	Ref.	T35	T40	T45
7 dias	48,79	33,72	28,86	27,53
	47,97	32,86	30,61	32,46
	47,86	34,34	30,25	28,86
	46,29	34,16	34	25,23
	47,63	34,92	31,07	32,1
	50,15	33,79	25,88	30,28
14	49,53	33,75	39,58	28,97
	47,13	35,65	35,35	28,44
	51,97	33,64	31,36	31,82
	53,62	35,83	35,58	34,99
	*42,64	34,91	41,2	31,94
	*42,39	*29,59	36,57	32,04
28	49,11	39,86	48,01	34,81
	55,2	35,55	49,96	32,22
	50,09	36,4	37,86	34,05
	56,1	39,45	48,7	32,07
	56,16	32,02	45,17	36,33
	*47,75	39,92	39,71	32,62
56	54,31	46,17	52,27	38,87
	57,26	45,62	54,87	39,92
	51,53	47,38	58,27	41,82
	58,08	46,06	55,24	47,72
	54,52	42,07	57,62	43,01
	55,72	45,22	58,09	40,66

*valores descartados devido à discrepância maior que 10%.