

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

*UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO  
EM CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL*

ROBERTO PAGLIOSA BRANCO

**Orientador:** Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

**Co-orientador:** Prof. Dr. Marco Antonio de M. Alcântara

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha  
Solteira, para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas.

Ilha Solteira – SP  
Janeiro/2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

B816u

Branco, Roberto Pagliosa.

Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável / Roberto Pagliosa  
Branco. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2012.  
118 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de  
Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2012

Orientador: Antonio Anderson da Silva Segantini

Co-orientador: Marco Antonio de Moraes Alcântara

Inclui bibliografia

1. Concreto auto-adensável. 2. Resíduos de concreto. 3. Agregados (Materiais de  
construção. 4. Agregados reciclados de concreto.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

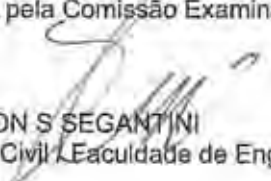
**TÍTULO:** Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável.

**AUTOR:** ROBERTO PAGLIOSA BRANCO

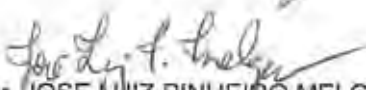
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARCO ANTONIO MORAIS ALCANTARA

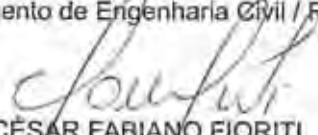
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. CÉSAR FABIANO FIORITI

Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Data da realização: 10 de fevereiro de 2012.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, aos meus pais Roberto Saraiva Branco e Maria Helena Pagliosa Branco, aos meus irmãos Fabiano, Bruno e Cássio Pagliosa Branco, pela ajuda e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Anderson da Silva Segantini e ao co-orientador Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcântara, pela grande contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os engenheiros e técnicos do Laboratório CESP de Engenharia Civil (LCEC)- que colaboraram com este trabalho e dos momentos de aprendizado que levarei para o resto da vida. Em especial ao engenheiro Flavio Moreira Salles, aos técnicos Joaquim Aparecido de Lima, Euclides Alves Marcelino e Gilmar Dias dos Santos do setor de agregados; Ademir de Jesus (Branco), Jorge Gomes da Costa e Sergio Roberto Souza Firmino do setor de ensaios físicos; José Antônio Michelin, Francisco Eduardo Mendes e Carlos Roberto Santos Feitosa no setor de dosagem, Luiz Delfino Vieira Bertolucci e Sumie Okajima Watanabe do setor de ensaios químicos.

Em especial, também, a todos os técnicos do laboratório da UNESP de Engenharia Civil do *campus* de Ilha Solteira, Gilson Campus Correa, José Cavassano Ribeiro, Mário Roberto Correa Ferreira, Renato Alves de Souza e Ronaldo Mendes do Amaral, pela contribuição na realização do trabalho.

Aos grandes amigos que ajudaram nas dosagens do concreto: Juliano de Sa Ramos, Francisco Flauzino e Caio Bertolo Larrubia, porque sem eles não seria possível realizar esse trabalho.

Ao Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges e ao Prof. Dr. José Fernando Moretti, pelas sugestões dadas no Exame Geral de Qualificação.

## RESUMO

O principal objetivo desse trabalho é buscar uma solução que viabilize melhorar as características do concreto auto-adensável (CAA) e que também possibilite o reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria da construção civil. O trabalho consiste em produzir CAA com adição de material fino constituído por resíduos de concreto em substituição ao agregado miúdo, objetivando obter uma mistura auto-adensável sem segregação, cujo resultado seja benéfico para as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Para tanto, foram realizados ensaios visando a avaliar as propriedades do concreto no estado fresco, segundo o método proposto por Tutikian (2004), a fim de otimizar a sua resistência no estado endurecido com o menor custo possível. E ainda, examinar diferentes faixas granulométricas procurando uma correlação que propicie condições adequadas de trabalhabilidade e de resistência mecânica. Os ensaios ocorreram no Laboratório de Engenharia Civil da UNESP e no Laboratório CESP de Engenharia Civil em Ilha Solteira-SP. Os concretos confeccionados com resíduo mostraram-se viáveis por apresentarem resultados próximos ao do concreto usado como referência, fazendo com que os resíduos sejam uma ótima opção como material reciclável.

Palavras-chave: Concreto auto-adensável. Resíduo de concreto. Agregados reciclados de concreto.

## ABSTRACT

The main objective of this paper is to search for a solution that makes possible to improve the characteristics of the self-compacting concrete(SCC) and also allows the reuse of the waste generated by the construction industry civil. The work is to produce SCC with the addition of fine material consisting of concrete waste to replace the fine aggregate in order to obtain a compacting mixture without self-segregation; the result is beneficial for physical and mechanical properties of concrete. To this end, tests were carried out in order to evaluate the properties of fresh concrete, according to the method proposed by Tutikian (2004), in order to optimize its resistance in the hardened condition with the lowest possible cost. And also examining different granulometric compositions in order to look for a correlation that provides appropriated working conditions and mechanical strength. The trials took place at the Laboratory of Civil Engineering of UNESP and at CESP Laboratory of Civil Engineering of Ilha Solteira-SP. The concrete made from waste appear to be viable because presents results close to the concrete used as a reference, so that residues shall be a great choice as recyclable material.

Keywords: Self-compacting concrete. Concrete waste. Recycled aggregates of concrete.

## LISTA DE FIGURAS

|             |                                                                                                        |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 -  | Areia fina.....                                                                                        | 45 |
| Figura 2 -  | Areia média fina. ....                                                                                 | 45 |
| Figura 3 -  | Brita.....                                                                                             | 46 |
| Figura 4 -  | Entulho retirado das calçadas.....                                                                     | 47 |
| Figura 5 -  | Triturador usado no trabalho.....                                                                      | 47 |
| Figura 6 -  | Resíduo de concreto sendo peneirado no laboratório.....                                                | 48 |
| Figura 7 -  | Dosagem do CAA .....                                                                                   | 51 |
| Figura 8 -  | Concreto antes da colocação do superplastificante.....                                                 | 55 |
| Figura 9 -  | Concreto após a colocação do superplastificante.....                                                   | 55 |
| Figura 10 - | Corpos-de-prova moldados, ainda em seu estado fluido.....                                              | 57 |
| Figura 11 - | Local de capeamento de corpos de prova.....                                                            | 58 |
| Figura 12 - | Prensa do laboratório.....                                                                             | 58 |
| Figura 13 - | Ensaio de slump flow test.....                                                                         | 62 |
| Figura 14 - | Resultado do ensaio de <i>slump flow test</i> .....                                                    | 63 |
| Figura 15 - | Funil-V.....                                                                                           | 65 |
| Figura 16 - | Funil – V utilizado nos ensaios.....                                                                   | 66 |
| Figura 17 - | Medidas da caixa-L recomendadas .....                                                                  | 67 |
| Figura 18 - | Caixa-L usada no trabalho experimental.....                                                            | 68 |
| Figura 19 - | Ensaio da caixa L sendo executado.....                                                                 | 69 |
| Figura 20 - | Gráfico de caracterização granulométrica da areia media fina. ....                                     | 72 |
| Figura 21 - | Gráfico de caracterização granulométrica da areia fina.....                                            | 73 |
| Figura 22 - | Gráfico de caracterização granulométrica do agregado graúdo.....                                       | 75 |
| Figura 23 - | Gráfico de caracterização do resíduo de concreto com granulometria média.....                          | 76 |
| Figura 24 - | Resíduo de concreto com granulometria média.....                                                       | 77 |
| Figura 25 - | Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina. ....                                     | 78 |
| Figura 26 - | Resíduo de concreto com granulometria fina.....                                                        | 79 |
| Figura 27 - | Resistência do Concreto x Dias para o traço de referência.....                                         | 94 |
| Figura 28 - | Resistência do Concreto x Dias para o traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria média..... | 94 |
| Figura 29 - | Resistência do Concreto x Dias para o traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria média..... | 95 |

|             |                                                                                                         |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 30 - | Resistência do Concreto x Dias, para o traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina. .... | 95  |
| Figura 31 - | Resistência do Concreto x Dias para o traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina. ....  | 96  |
| Figura 32 - | Diagrama de dosagem do traço de referência.....                                                         | 97  |
| Figura 33 - | Diagrama de dosagem do traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria média. ....                | 98  |
| Figura 34 - | Diagrama de dosagem do traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria média.....                 | 98  |
| Figura 35 - | Diagrama de dosagem do traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina. ....                 | 99  |
| Figura 36 - | Diagrama de dosagem do traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina. ....                 | 99  |
| Figura 37 - | Comparação da resistência do traço pobre. ....                                                          | 105 |
| Figura 38 - | Comparação da resistência do traço médio. ....                                                          | 105 |
| Figura 39 - | Comparação da resistência do traço rico. ....                                                           | 106 |
| Figura 40 - | Comparação dos traços em relação ao Custo/MPa aos 28 dias .....                                         | 109 |
| Figura 41 - | Comparação dos traços em relação ao Custo/MPa aos 56 dias .....                                         | 109 |

## LISTA DE TABELAS

|             |                                                                                                                                        |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 -  | Diferença entre os resíduos. ....                                                                                                      | 29 |
| Tabela 2 -  | Coleta de RCD na Região Norte. ....                                                                                                    | 34 |
| Tabela 3 -  | Coleta de RCD na Região Nordeste. ....                                                                                                 | 34 |
| Tabela 4 -  | Coleta de RCD na Região Centro-Oeste. ....                                                                                             | 35 |
| Tabela 5 -  | Coleta de RCD na Região Sudeste. ....                                                                                                  | 35 |
| Tabela 6 -  | Coleta de RCD na Região Sul. ....                                                                                                      | 35 |
| Tabela 7 -  | Exemplo para um CAA 1:3. ....                                                                                                          | 53 |
| Tabela 8 -  | Ensaio para a medição da trabalhabilidade do CAA. ....                                                                                 | 61 |
| Tabela 9 -  | Limites de espalhamento para o <i>slump flow test</i> . ....                                                                           | 64 |
| Tabela 10 - | Valores limites e dimensões consideradas no ensaio funil-V. ....                                                                       | 66 |
| Tabela 11 - | Valores de limite sugeridos por vários autores. ....                                                                                   | 69 |
| Tabela 12 - | Caracterização física do CPV - ARI. ....                                                                                               | 71 |
| Tabela 13 - | Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural (areia média fina). ....                                                       | 71 |
| Tabela 14 - | Caracterização do agregado miúdo natural (areia média fina). ....                                                                      | 72 |
| Tabela 15 - | Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural (areia fina). ....                                                             | 73 |
| Tabela 16 - | Caracterização do agregado miúdo natural (areia fina). ....                                                                            | 74 |
| Tabela 17 - | Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural. ....                                                                         | 74 |
| Tabela 18 - | Caracterização do agregado graúdo. ....                                                                                                | 75 |
| Tabela 19 - | Caracterização do resíduo de concreto granulometria média. ....                                                                        | 76 |
| Tabela 20 - | Caracterização do resíduo de concreto granulometria média. ....                                                                        | 77 |
| Tabela 21 - | Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina. ....                                                                     | 78 |
| Tabela 22 - | Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina. ....                                                                     | 79 |
| Tabela 23 - | Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço de referência. ....                                                          | 81 |
| Tabela 24 - | Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 20% de resíduo de concreto com granulometria média. .... | 82 |
| Tabela 25 - | Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 40% de resíduo de concreto com granulometria média. .... | 83 |

|             |                                                                                                                                                              |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 26 - | Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina.....                         | 84  |
| Tabela 27 - | Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina.....                         | 85  |
| Tabela 28 - | Traços confeccionados no laboratório .....                                                                                                                   | 86  |
| Tabela 29 - | Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de referência.....                                                                                   | 89  |
| Tabela 30 - | Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 20% de RC com granulometria média. ....                                                           | 90  |
| Tabela 31 - | Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 40% de RC com granulometria média. ....                                                           | 91  |
| Tabela 32 - | Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 20% de RC com granulometria fina. ....                                                            | 92  |
| Tabela 33 - | Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 40% de RC com granulometria fina. ....                                                            | 93  |
| Tabela 34 - | Comparações entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto de referência pelo método da AMEBA .                            | 100 |
| Tabela 35 - | Resultados da resistência à compressão do concreto de referência pelo método da NBR 6118. ....                                                               | 100 |
| Tabela 36 - | Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria média pelo método da AMEBA ..... | 101 |
| Tabela 37 - | Resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria média pelo método da NBR 6118. ....                                       | 101 |
| Tabela 38 - | Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria média pelo método da AMEBA. .... | 101 |
| Tabela 39 - | Resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria média pelo método da NBR 6118. ....                                       | 102 |
| Tabela 40 - | Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria fina pelo método da AMEBA. ....  | 102 |

|             |                                                                                                                                                            |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 41 - | Resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria fina pelo método da NBR 6118.....                                       | 102 |
| Tabela 42 - | Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria fina pelo método da AMEBA..... | 103 |
| Tabela 43 - | Resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria fina pelo método da NBR 6118.....                                       | 103 |
| Tabela 44 - | Valor do custo/m <sup>3</sup> e custo/MPa aos 28 e 56 dias.....                                                                                            | 108 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                           |                                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>%</b>                  | porcentagem                                                               |
| <b>a/agl</b>              | Relação água/aglomerante                                                  |
| <b>a/c</b>                | Relação água/cimento                                                      |
| <b>ABNT</b>               | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                  |
| <b>ABRELPE</b>            | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Publica e Resíduos Especiais |
| <b>c:f:a:b</b>            | cimento:finos:areia:brita                                                 |
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b> | Hidróxido de cálcio                                                       |
| <b>CAA</b>                | Concreto auto-adensável                                                   |
| <b>CCV</b>                | Concreto convencional vibrado                                             |
| <b>CESP</b>               | Cia Energética de São Paulo                                               |
| <b>CONAMA</b>             | Conselho Nacional do Meio                                                 |
| <b>CPI</b>                | Cimento portland comum                                                    |
| <b>CPII</b>               | Cimento portland composto                                                 |
| <b>CPIII</b>              | Cimento portland de auto forno                                            |
| <b>CPIV</b>               | Cimento portland Pozolânico                                               |
| <b>CPV-ARI</b>            | Cimento Portland de Alta Resistência Inicial                              |
| <b>D<sub>máx</sub></b>    | Diâmetro máximo                                                           |
| <b>EPUSP</b>              | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo                           |
| <b>F<sub>cd</sub></b>     | Resistência de calculo do concreto                                        |
| <b>F<sub>ck</sub></b>     | Resistência característica do concreto                                    |
| <b>F<sub>ckj</sub></b>    | Resistência característica do concreto para a data j                      |
| <b>IPT</b>                | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo                |
| <b>MPa</b>                | Mega Pascal                                                               |
| <b>NBR</b>                | Norma Brasileira                                                          |
| <b>RC</b>                 | Resíduo Concreto                                                          |
| <b>RCD</b>                | Resíduo de construção e demolição                                         |
| <b>UNESP</b>              | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”                  |
| <b>VMA</b>                | Aditivos Modificadores de Viscosidade                                     |
| <b>Y<sub>c</sub></b>      | Coeficiente de ponderação do concreto                                     |
| <b>µm</b>                 | Micrômetro (10 <sup>-6</sup> metros)                                      |

## SUMÁRIO

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                           | <b>21</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA.....                                | 22        |
| 1.2      | OBJETIVO .....                                    | 24        |
| <br>     |                                                   |           |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                 | <b>25</b> |
| 2.1      | CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA).....                | 25        |
| 2.2      | AGREGADOS PARA O CAA.....                         | 28        |
| 2.3      | POTENCIALIDADES DO AGREGADO RECICLADO .....       | 29        |
| 2.4      | RECICLAGEM DE RCD: ECONOMIA E MEIO-AMBIENTE ..... | 36        |
| 2.5      | RESÍDUOS DE CONCRETO.....                         | 36        |
| 2.6      | RESÍDUOS POZOLÂNICOS E NÃO POZOLÂNICOS .....      | 38        |
| 2.7      | MÉTODOS DE DOSAGENS DE CAA .....                  | 42        |
| <br>     |                                                   |           |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                   | <b>44</b> |
| 3.1      | MATERIAIS .....                                   | 44        |
| 3.1.1    | Cimento Portland .....                            | 44        |
| 3.1.2    | Agregados miúdos .....                            | 44        |
| 3.1.3    | Agregados graúdos .....                           | 45        |
| 3.1.4    | Resíduos de concreto .....                        | 46        |
| 3.1.5    | Aditivos.....                                     | 48        |
| 3.1.6    | Água.....                                         | 48        |
| 3.2      | MÉTODOS.....                                      | 49        |
| 3.2.1    | Cimento Portland .....                            | 49        |
| 3.2.2    | Agregados miúdos .....                            | 49        |
| 3.2.3    | Agregados graúdos .....                           | 50        |
| 3.2.4    | Resíduos de concreto .....                        | 50        |
| 3.2.5    | Método de dosagem .....                           | 50        |
| 3.2.6    | Realização do estudo de dosagem .....             | 54        |
| 3.2.7    | Moldagem dos corpos de prova e capeamento .....   | 56        |
| 3.2.8    | Método da AMEBA.....                              | 59        |
| 3.2.9    | Método da fórmula da NBR 6118 (2004).....         | 59        |

|       |                                                                               |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3   | ENSAIOS DE CONCRETO.....                                                      | 60  |
| 3.3.1 | Slump flow test.....                                                          | 61  |
| 3.3.2 | Funil-V .....                                                                 | 64  |
| 3.3.3 | Caixa L .....                                                                 | 67  |
| 4     | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                  | 70  |
| 4.1   | CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS.....                                            | 70  |
| 4.1.1 | Cimento Portland .....                                                        | 70  |
| 4.1.2 | Agregados miúdos.....                                                         | 71  |
| 4.1.3 | Agregado graúdo .....                                                         | 74  |
| 4.1.4 | Resíduos de concreto.....                                                     | 75  |
| 4.2   | DOSAGENS E RESULTADOS DOS CONCRETOS OBTIDOS.....                              | 80  |
| 4.2.1 | Cálculo dos traços .....                                                      | 80  |
| 4.2.2 | Resultados da resistência dos corpos-de-prova.....                            | 87  |
| 4.2.3 | Curvas de dosagem .....                                                       | 97  |
| 4.2.4 | Projeções de resistência pelo método AMEBA e pela fórmula da NBR 6118 .....   | 100 |
| 4.2.5 | Comparação das resistências entre todos os traços. ....                       | 104 |
| 4.2.6 | Comparação do custo/m <sup>3</sup> de concreto dos traços confeccionados..... | 107 |
| 5     | CONCLUSÕES.....                                                               | 110 |
| 6     | PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....                                         | 111 |
|       | REFERÊNCIAS.....                                                              | 112 |

## 1 INTRODUÇÃO

Nas civilizações primitivas o homem utilizava pedras, madeira e o barro como materiais de construção. Aos poucos, suas exigências foram aumentando, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro e resistente como pedra (VERÇOSA, 2003, p.2)

Atualmente, uma nova tecnologia dos concretos vem chamando a atenção do meio técnico. Trata-se do concreto auto-adensável (CAA), que surgiu no Japão e tem como características principais a sua excelente fluidez no estado fresco e elevada resistência à segregação. Sendo assim, mostrou-se uma ótima alternativa para a confecção de estruturas de concreto, podendo ser moldado nas fôrmas de modo a preencher todos os espaços vazios simplesmente pela ação do seu peso próprio, sem a necessidade de qualquer tipo de vibração ou compactação externa.

Este tipo de concreto pode ser produzido com os mesmos materiais que se utilizam na confecção do concreto convencional, acrescentando-se aditivos (super plastificante) e materiais finos (pozolânicos ou não-pozolânicos).

O uso de concreto auto-adensável se tornou bastante amplo nos últimos anos, tanto em peças comuns como em peças de difícil acesso, devido a não necessidade do uso de uma força externa, exceto a da gravidade, isto é, com o próprio peso do concreto.

A capacidade de enchimento e da estabilidade do concreto auto-adensável no estado fresco pode ser definida por três características fundamentais: fluidez, viscosidade ou habilidade passante e segregação. A mistura de concreto será classificada como auto-adensável se todas as características citadas estão presentes.

Essas características são obtidas por adição de aditivos químicos ao concreto, tais como super plastificantes, mais freqüentemente combinado com aditivos para modificação da viscosidade, ou através da aplicação de certa quantidade de minerais finos. As propriedades do concreto auto-adensável

dependem do tipo e da quantidade de aditivo que é usado, e há inúmeros trabalhos de pesquisa que consideram esse assunto, os quais serão vistos mais a frente.

De acordo com Diogo (2006), alguns autores em trabalhos publicados com relação ao CAA, afirmam que a relação água/cimento pode apresentar valores em torno de 0,30 a 0,50. Isso se deve ao fato de se usar aditivo super plastificante, fazendo com que a relação a/c seja baixa, gerando grande fluidez ao concreto.

O mercado de reciclagem no Brasil começa a dar mais valor a prática de reciclagem, tanto de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) como de Resíduo de Concreto, com usinas de reciclagem de concreto, alvenaria e cerâmica, as demolidoras chegam a dar descontos quando há possibilidade de consumo do material reciclado na mesma área ou em locais próximos de onde os resíduos são gerados.

A Resolução nº. 307, de 05/07/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA criou instrumentos definindo responsabilidades e deveres e tornando obrigatória em todos os municípios do país a implantação local de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Sendo o concreto auto-adensável uma tecnologia ainda recente no contexto nacional e, portanto, ainda pouco aplicada, este trabalho propõe introduzir ao tema um dos desafios atuais, que gira em torno da reciclagem de agregados de concreto, analisando a sua atividade pozolânica, visando à obtenção de melhores resultados na confecção destes concretos, configurando, assim, uma alternativa para o reaproveitamento de parte dos resíduos gerados na construção civil.

Os agregados reciclados, oriundos dos 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. Como resultado, um projeto de mistura adequada é necessário a fim de se obter as qualidades desejadas para os concretos produzidos a partir dos agregados reciclados (LIN YH et al., 2004).

Em geral, a qualidade do resíduo de concreto depende da maneira como o concreto foi obtido originalmente. Tabsh e Abdelfatah (2009) concluíram que a perda percentual da resistência de compressão ou tração devido à utilização de agregado reciclado é mais significativa em um concreto pouco resistente do que em um concreto de alta resistência.

No contexto de geração de entulhos na construção civil, o grande volume tem se tornado um grave problema para a sociedade, com redução de áreas úteis e degradação do meio ambiente. Não obstante, a produção de concretos com agregados reciclados começou a ser pesquisada de forma sistemática a partir de 1928, nas quais se avaliavam o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de alvenaria britada e de concreto.

Embora a técnica de reciclagem dos resíduos minerais de construção civil tenha evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção que a reciclagem tenha se tornado uma idéia amplamente difundida.

Considerando que não é habitual no Brasil a produção de concretos com material reciclado, percebe-se uma tendência generalizada, por parte da iniciativa privada e do poder público, no sentido de equacionar e gerenciar a geração de entulhos de construção civil, que vem se transformando em problema de grandes proporções nas maiores metrópoles do país.

Buttler e Machado Jr. (2003) informaram que o processo de britagem utilizado determinou as características dos resíduos, a granulometria e a quantidade de argamassa aderida aos agregados. Esta britagem é muito importante para se confeccionar o CAA, para que se possam chegar às propriedades físicas e mecânicas no estado de fluidez deste concreto.

O poder público, demonstrando preocupação com a destinação dos resíduos gerados pela indústria da construção, apresentou em 2002 diretrizes para o projeto que trata da geração e destinação dos resíduos sólidos de construção, estabelecendo assim a Resolução nº 307 do CONAMA.

Foi proposto, neste trabalho, mostrar a possibilidade técnica de se utilizar resíduos sólidos de construção, especificamente os resíduos de concreto, na confecção do concreto auto-adensável. Com a realização deste trabalho foi contribuir no sentido de trazer para o meio técnico uma possibilidade para minimizar

a geração de resíduos nos canteiros de obra, reduzir o consumo e a extração de matérias-primas, assim atuando segundo os preceitos da sustentabilidade na construção civil.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar a confecção do concreto auto-adensável, com a utilização de resíduo de concreto, em substituição aos agregados miúdos naturais, avaliando as suas propriedades de interesse nos estados fresco e endurecido.

Desta forma, objetiva-se reaproveitar os resíduos de concreto gerados nas obras de engenharia, utilizando-o em substituição aos agregados miúdos na confecção do CAA.

Busca-se contribuir para a preservação do meio-ambiente, promovendo uma destinação apropriada para estes materiais residuais, que jamais deveriam ser descartados na natureza, muitas vezes de forma inadequada, com prejuízos de toda ordem para o meio ambiente.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA)

O concreto sempre foi muito utilizado como material de construção, mas sua utilização vem aumentando consideravelmente, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias, com isso, pode ser empregado tanto em ambientes de agressão moderada como em ambientes fortemente agressivos.

De acordo com a Concrete Society (2005), o concreto auto-adensável (CAA) é relativamente novo, ganhou popularidade porque conduz à melhoria da produtividade da concretagem, gerando melhor qualidade e condições de trabalho em comparação normalmente com concreto vibrado.

O surgimento do concreto auto-adensável no final da década de 80 foi um grande avanço tecnológico: concreto com capacidade de fluidez sem segregação, e capaz de preencher todo o interior das formas sem auxílio de vibrador mecânico (MESQUITA et al., 2009). Segundo Gomes (2009) o CAA foi desenvolvido na Universidade de Tóquio em 1986 e tem seu primeiro protótipo feito por Ozawa em 1988 para sanar o problema em situações onde existe dificuldade no adensamento.

Os principais benefícios do concreto auto-adensável usado na construção de estruturas consistem na redução do período de produção, aumentando assim a produtividade, garantindo a compactação (especialmente em zonas confinadas, onde é difícil o lançamento o concreto) melhorando a qualidade da construção e eliminando os ruídos do adensamento mecânico, o que leva a uma substancial melhoria no ambiente de trabalho (ZHANG et al., 2009).

Portanto, o CAA levou a melhoria da qualidade dos produtos e da eficácia da indústria da construção. Embora ofereça vários benefícios econômicos e técnicos, ressalta-se que está sujeito à ação de agentes químicos autógenos significativos e retração por secagem de maneira mais acentuada daquela que se verifica nos concretos convencionais, e isto pode levar à formação de fissuras e trincas (ROZIÈRE, et al., 2007).

De acordo com Tutikian (2008), a dosagem do CAA era apontada como o ponto crítico desse novo material, uma vez que os métodos existentes eram defasados por terem sido propostos antes que se iniciasse a utilização de materiais de maior tecnologia, como aditivos super plastificantes à base de policarboxilatos.

A metodologia de dosagem Melo-Reppete (2005) apresenta uma alternativa para se dosar um CAA econômico, com propriedades satisfatórias no estado endurecido.

Conforme Melo et al. (2009), a verificação da ocorrência de problemas de incompatibilidade exige uma avaliação de cada combinação entre cimento e aditivo disponível. Esta incompatibilidade pode causar efeitos adversos no concreto, porém, existem ensaios que estudam a pasta de cimento com o devido aditivo, onde é medida a fluidez da pasta, um desses ensaios se dá pelo tempo de escoamento do funil de Marsh.

A microestrutura do CAA, segundo Melo-Reppete (2005), exige a homogeneidade da mistura, devido ao uso de grandes quantidades de finos, que proporciona um melhor empacotamento das partículas, promovendo a retenção de água e a estruturação de uma zona de transição mais densa entre a pasta de cimento e os agregados, devido ao favorecimento do processo de nucleação durante a hidratação do cimento.

Para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, normalmente são utilizados aditivos modificadores de viscosidade e/ou adições minerais (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Os materiais utilizados na mistura do CAA são praticamente os mesmos utilizados no concreto convencional. O aglomerante, por exemplo, geralmente possui uma maior quantidade de finos, o que gera um alto volume de pasta e um reduzido volume de agregado graúdo. Entretanto, para um grande volume de pasta há necessidade de grande quantidade de cimento, gerador de alto custo além de alto calor de hidratação no concreto (DIOGO, 2006).

Embora a princípio possa parecer um concreto bem diferenciado, uma importante característica do concreto auto-adensável é o fato de poder ser produzido nas mesmas centrais de concreto e com os mesmos materiais empregados na

produção do concreto convencional: brita, areia, cimento, adições e aditivos (ISAIA, 2005).

Sendo assim o concreto auto-adensável pode ser definido como um concreto de alto desempenho com excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência à segregação. Esse concreto possui a capacidade de se moldar nas formas sem vibração, passando coeso por meio das armaduras (CATOIA et al., 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o super plastificante pode aumentar a resistência inicial do concreto, especialmente importante na indústria de concreto pré-moldado, onde altas resistências iniciais são necessárias para a reutilização rápida das fôrmas.

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que a durabilidade de uma estrutura de concreto de cimento Portland é a sua capacidade de permanecer com a sua forma, qualidade e capacidade de uso, no ambiente para o qual ele foi projetado por um determinado período de tempo.

O CAA está relacionado com o aumento na produtividade, melhora do ambiente construtivo e pode fornecer contribuições à tecnologia sustentável do concreto, não existe nenhum tipo especial de cimento para o uso no CAA, porém estudos recomendam um cimento com alguns ajustes, considerando a composição do CAA (CAVALCANTI, 2006).

Geralmente suas composições contêm um alto volume de adições minerais, provenientes de resíduos industriais, diminuindo a demanda de cimento e agregados, contribuindo positivamente para a diminuição do impacto ambiental e conservação de recursos naturais, tendências claras para o desenvolvimento tecnológico sustentável de qualquer material (GOMES et al., 2006).

Apesar de estar se difundindo por vários países e ampliando o seu potencial de aplicação, o CAA ainda carece de muitas pesquisas, com o intuito de acrescentar maiores conhecimentos das suas propriedades mecânicas e sua microestrutura quando produzido com finos e adições minerais pozolânicas (ARAÚJO, et al., 2008).

## 2.2 AGREGADOS PARA O CAA

Os agregados graúdos utilizados no CAA têm as mesmas características dos agregados utilizados no concreto convencional. Diferenciam-se apenas, nas características do diâmetro máximo dos agregados devido à capacidade de se auto-adensar sem o auxílio de equipamentos, como o vibrador, e de contornar obstáculos, sendo necessário um menor diâmetro máximo, para que o CAA consiga atender a estas propriedades com eficiência.

Em geral os agregados ocupam de 55 a 80% do volume do concreto. Sem a alternativa de agregados reciclados, a indústria global de concreto consumiria de 8 a 12 bilhões de toneladas de agregados naturais anualmente após o ano 2010. Tal consumo causará a destruição do ambiente (TU et al., 2006).

A composição granulométrica tem uma grande influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compacidade e resistência. No entanto, usando a tecnologia de moagem adequados como um britador, é possível produzir formas de partículas cúbicas com classificação uniforme e de forma consistente, em condições controladas (ALEXANDER; MINDESS, 2005).

Aguiar et al. (2002) concluiu que substituições de agregados naturais em teores de até 20% não apresentam alterações significativas na resistência à compressão, embora a absorção de água tenha apresentado uma diferença sensível, fato que indica a necessidade de cuidados especiais, caso se queira utilizar esses agregados em concretos com funções estruturais.

Os agregados miúdos, de modo geral, não possuem restrições para a produção de CAA, tanto em sua forma natural como as processadas industrialmente. Essas últimas devem ser utilizadas com cuidado, pois normalmente apresentam composição granulométrica com descontinuidades, que podem ser corrigidas por meio da adição de outro tipo de areia. A seleção desse agregado está condicionada à demanda de água, fator importante que influencia a coesão e fluidez do concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Vieira et al. (2003), concluíram que o uso de agregado reciclado no concreto, em proporções convenientemente dosadas, não provoca corrosão da armadura, ou

seja, não haverá redução de durabilidade quando esses concretos são comparados aos concretos produzidos, exclusivamente, com agregados naturais.

### 2.3 POTENCIALIDADES DO AGREGADO RECICLADO

Hendriks et al. (2007), fazem uma distinção entre entulho e resíduos. Segundo os autores, o entulho ou restos de construção são materiais de valor negativo, matéria que se perde no processo de reutilização e reciclagem. Já os resíduos são definidos como materiais aproveitáveis para reciclagem ou reutilização após coleta e tratamento, sendo aptos a entrar no ciclo novamente. Na tabela 1, Hendriks et al., (2007) propõe essa diferença entre os resíduos.

Tabela 1 - Diferença entre os resíduos.

| Resíduos de construção                                                                   | Resíduos de demolição                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mais heterogêneo, contem muitos restos de embalagens como plásticos e papelões.          | Mais homogêneo.                                                                                             |
| Vários contratantes participam do processo, o que resulta e menor controle e disciplina. | Normalmente um contratante apenas participa da demolição, e pode, portanto haver um controle mais rigoroso. |

Fonte: Hendriks et al. (2007).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são geralmente classificados como materiais inertes. Devidamente reciclado, o resíduo apresenta propriedades físicas e químicas apropriadas para o seu emprego como material de construção.

O RCD é basicamente composto por concretos, argamassas e rochas que apresentam bom potencial para a reciclagem;

- Blocos, tijolos e cerâmicas,
- Solos, areias e argila;
- Asfalto, que pode ser reutilizado em obras viárias;
- Metais ferrosos, que podem ser reciclados pelo setor de metalurgia;

- Madeiras (material parcialmente reciclável, que merece atenção quando estiver protegido por impermeabilizantes e vernizes);
- Outros materiais.

Marques Neto (2005) afirma que, como o Brasil é considerado um país emergente, vem enfrentando graves problemas ocasionados pela degradação do meio ambiente, quadro bastante comum nos países em desenvolvimento. A questão dos resíduos sólidos gerados, principalmente em regiões urbanas, apresenta resultados gravíssimos, seja pela falta de soluções adequadas, falta de investimentos ou pela ausência de informações à sociedade quanto à importância e conscientização da gravidade deste problema.

Blumenschein (2007) comenta que mais da metade do entulho é disposto irregularmente na maioria dos centros urbanos brasileiros de médio e grande porte.

Estes materiais muitas vezes estão contaminados com materiais perigosos, como tintas, solventes e óleos. Se estes não forem separados na fonte geradora antes de serem levados a um local de disposição final, podem contaminar águas e solos, além de prejudicar a saúde dos operários que trabalham com este material. Se estes resíduos estiverem estocados em locais inapropriados, através da percolação da água da chuva pode ocorrer uma lixiviação e formação de elementos químicos prejudiciais ao meio-ambiente (ROUSSAT et al., 2008).

Segundo Souza et al. (2004), embora seja de grande importância a destinação adequada dos resíduos gerados torna-se imperativas ações que tenham como objetivo a redução do entulho diretamente na fonte de geração, ou seja, nos próprios canteiros de obras.

Lovato (2007), que também trabalha com frações mistas de RCD (cerâmica, argamassa e concreto), acrescenta que a composição granulométrica está relacionada com a origem do material e o equipamento utilizado para o processamento do mesmo.

Da mesma forma Cabral (2007), sugere esta aproximação das curvas granulométricas para agregado reciclado e agregado natural. Este autor optou por fracionar o resíduo adotado para a inserção em uma nova matriz, separando-os em agregados miúdos e graúdos e também em função de sua natureza (o autor trabalha separadamente os resíduos de concreto, argamassa e cerâmica vermelha).

De acordo com Gómez-Soberón (2003), os agregados reciclados de concreto apresentam diâmetro de poros em torno de 40% maiores do que os poros dos agregados naturais. Este acréscimo de porosidade se dá em função da quantidade de argamassa aderida aos grãos de RCD.

Vieira e Dal Molin (2004), enfatizam que a maior porosidade e a menor resistência dos agregados graúdos, são fatores que podem influenciar na resistência à compressão obtida com estes novos concretos. Com isso, o potencial de absorção de água é um dos mais significativos parâmetros que distingue o agregado reciclado do agregado natural (ETXEBERRIA et al., 2007)

A absorção de água ocorre através da rede de poros do material. Esta característica determina a quantidade de fluido que é absorvido para o interior do sólido avançando através dos seus poros. Este dado pode ser usado para avaliar a porosidade do agregado e a sua resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Cabral (2007), utilizando uma mesma relação materiais secos/pasta, a substituição de agregado convencional pelo reciclado resultou numa perda de trabalhabilidade da mistura, decorrente da maior porosidade dos agregados. O autor aponta que o processo de britagem dos resíduos tornou-os mais angulares, aumentando a fricção interna nos concretos com RCD, dificultando o deslizamento das partículas.

Em sua pesquisa, Carrijo (2005) utilizou resíduos mistos de RCD separados por categorias, menos porosos (argamassas e concretos) e mais porosos (cerâmica). A autora relata uma redução na resistência na medida em que aumenta a porosidade dos agregados, aumenta a relação a/c e quando os agregados reciclados apresentam uma massa específica reduzida.

Em estudo realizado por Padmini et al. (2009), em concretos feitos com agregados graúdos de concreto, quanto mais resistente é o concreto de origem, mais resistente será o concreto que o incorpora.

Conforme Lovato (2007), o RCD pode ser constituído por diferentes materiais, tais como: solos, rochas naturais, concreto, argamassas, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, cimento, gesso, vidro, chapas de aço galvanizado, madeira, plásticos, materiais betuminosos, tintas, papéis de embalagens e restos de vegetais.

Segundo Azevedo et al. (2006) a necessidade de redução dos custos das construções e minimização dos impactos ambientais causados pelo setor, que exige alto consumo de matéria prima e energia, estimando-se um consumo entre 15 e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade moderna .

Santiago (2008) estudou propriedades mecânicas, como resistência e módulo de deformação longitudinal de concretos reciclados, comprovando a viabilidade da utilização de agregados reciclados em substituição aos naturais.

Para o emprego do resíduo de construção e demolição como agregado em concreto, esse material deve ser processado por usinas de reciclagem. A utilização do RCD em concretos mostra-se bastante adequada. Além de haver possibilidades de utilização de grandes parcelas de RCD, uma vez que 75% do volume de concreto são compostos por agregado, segundo Mehta e Monteiro (2008).

A reciclagem de resíduos da construção civil teve início no Brasil em 1991 quando foi instalada a primeira usina na cidade de Itatinga (estado de São Paulo), com a capacidade de reciclagem de 100 toneladas por dia. O material reciclado foi inicialmente utilizado como base na pavimentação de ruas e estradas (MENDES; BORJA, 2007).

A Europa foi o primeiro continente a utilizar agregados reciclados, quando, após a II Guerra Mundial, a necessidade de reconstruir as cidades e depositar os resíduos deixados pela destruição levou ao emprego dessa solução. (STURTEVANT, 2007)

Padmini et al. (2009) estudaram a influência das propriedades da matriz de concreto de origem do agregado reciclado, ou seja, do concreto que deu origem ao resíduo utilizado como agregado gráúdo reciclado. A partir dos resultados obtidos nesse estudo podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Concretos produzidos com agregados reciclados necessitam de correções de água de amassamento; quanto maior é a resistência da matriz de origem do agregado, maior o tamanho do grão obtido;
- Os agregados reciclados possuem menor resistência mecânica, quando comparados aos graníticos de mesma granulometria. Entretanto, a resistência do agregado reciclado está em limites aceitáveis pelas normas de agregado;

- Para manter a resistência da matriz com agregados reciclados é necessário uma menor relação a/c e um maior consumo de cimento;

- A resistência à flexão e o módulo de deformação são menores para os concretos reciclados, e reduzem ainda com a redução do tamanho do grão de RCD.

Quando se analisam as propriedades do concreto reciclado no estado endurecido, observa-se que esses normalmente apresentam maior porosidade, maior absorção, baixa densidade e menores resistências, quando comparados com os concretos convencionais. Na maioria dos estudos, verifica-se que a redução do módulo de deformação é em geral maior que a redução da resistência à compressão do material, para concretos produzidos com agregados reciclados (CASUCCIO et al., 2007).

Rahal et al. (2007) estudaram concretos fabricados com substituição total do agregado graúdo natural pelo reciclado e concluíram que há uma redução de 10% na resistência à compressão e à tração nos concretos reciclados. A resistência à compressão dos concretos reciclados pode ser influenciada por diversos fatores como: composição do RCD, taxa de substituição e absorção do agregado.

Da mesma forma, em estudos apresentados por Casuccio et. al. (2007), o módulo de elasticidade dos concretos reciclados para todos os traços estudados foi reduzido, caracterizando uma redução da dureza e aumento da fragilidade do material. Segundo Mehta e Monteiro (2008), o agregado possui maior importância quando se analisa o módulo de elasticidade do que quando a propriedade avaliada é a resistência à compressão.

A NBR 15114 (2004) classifica os resíduos de construção e demolição em quatro classes:

Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, de construções, reforma e demolição de pavimentos, de obras de infra-estrutura (inclusive solo), de edificações (tijolos, argamassa, concreto, etc.) 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.

Como pode ser visto nas tabelas 2 a 6, apresentadas abaixo, o aumento de RCD coletados pelos municípios brasileiros em 2010, foi de 8,7% a mais de em relação a 2009.

Tabela 2 - Coleta de RCD na Região Norte.

| REGIAO | Norte                                       | TOTAL       |
|--------|---------------------------------------------|-------------|
| 2009   | RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia) | 3,405/0,297 |
|        | População Urbana (hab.)                     | 11.663.184  |
| 2010   | RCD Coletado (t/dia)                        | 3,514       |
|        | Índice (kg/hab./dia)                        | 0,301       |

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2009 e 2010 e IBGE (contagem de população 2009 e censo 2010).

Tabela 3 - Coleta de RCD na Região Nordeste.

| REGIAO |                                             | TOTAL        |
|--------|---------------------------------------------|--------------|
| 2009   | RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia) | 15.663/0,412 |
|        | População Urbana (hab.)                     | 38.816.895   |
| 2010   | RCD Coletado (t/dia)                        | 17.995       |
|        | Índice (kg/hab./dia)                        | 0,464        |

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2009 e 2010 e IBGE (contagem de população 2009 e censo 2010).

Tabela 4 - Coleta de RCD na Região Centro-Oeste.

| REGIAO | Centro-Oeste                                | TOTAL        |
|--------|---------------------------------------------|--------------|
| 2009   | RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia) | 10.997/0,918 |
|        | População Urbana (hab.)                     | 12.479.872   |
| 2010   | RCD Coletado (t/dia)                        | 11.525       |
|        | Índice (kg/hab./dia)                        | 0,923        |

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2009 e 2010 e IBGE (contagem de população 2009 e censo 2010).

Tabela 5 - Coleta de RCD na Região Sudeste.

| REGIAO |                                             | TOTAL        |
|--------|---------------------------------------------|--------------|
| 2009   | RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia) | 46.990/0,632 |
|        | População Urbana (hab.)                     | 74.661.877   |
| 2010   | RCD Coletado (t/dia)                        | 51.582       |
|        | Índice (kg/hab./dia)                        | 0,691        |

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2009 e 2010 e IBGE (contagem de população 2009 e censo 2010).

Tabela 6 - Coleta de RCD na Região Sul.

| REGIAO | Região Sul                                  | TOTAL        |
|--------|---------------------------------------------|--------------|
| 2009   | RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab./dia) | 14.389/0,630 |
|        | População Urbana (hab.)                     | 23.257.880   |
| 2010   | RCD Coletado (t/dia)                        | 14.738       |
|        | Índice (kg/hab./dia)                        | 0,634        |

Fontes: Pesquisa ABRELPE 2009 e 2010 e IBGE (contagem de população 2009 e censo 2010).

## 2.4 RECICLAGEM DE RCD: ECONOMIA E MEIO-AMBIENTE

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma oportunidade de transformar uma fonte de despesa numa fonte de faturamento, ou pelo menos de redução de despesas de deposição. Outra vantagem da reciclagem é a redução significativa do volume de extração de matérias-primas, o que preserva recursos naturais limitados.

A gestão adequada dos RCD, em caráter público, pode acarretar em: redução de custos da limpeza urbana e recuperação de áreas degradadas; preservação de sistemas de aterro; redução dos impactos provenientes de exploração de jazidas naturais de agregados para a construção; preservação de paisagens urbanas; incentivo às parcerias para a captação, reciclagem e reutilização de RCD; geração de emprego e renda; incentivo de redução da geração nas atividades construtivas.

Percebe-se que, a implantação de uma gestão diferenciada dos RCD permite resultados concretos numa política de desenvolvimento urbano sustentável, impondo aos municípios um caráter regulador que pode aprimorar instrumentos jurídicos para que novos procedimentos de gestão se consolidem. Além disso, o uso do agregado reciclado em tecnologias alternativas no atendimento às demandas sociais dos centros urbanos está em conformidade com a complicada questão do déficit habitacional brasileiro.

A escassez de agregados naturais em ambientes urbanos e o aumento da distância entre as fontes de agregados naturais de qualidade e os locais de construção obrigaram os construtores considerar a substituição do agregado natural pelo material reciclado (cerâmica de construção, entulho, concreto). Por outro lado, grandes quantidades de concreto velho geralmente sobram em ambientes urbanos, cuja remoção e eliminação apresentam um problema ambiental.

## 2.5 RESÍDUOS DE CONCRETO

Segundo Buttler (2003), os resíduos de concreto (RC) incluem preponderantemente rejeitos oriundos da demolição de estruturas de concreto,

resíduos de usinas de concreto pré-misturado, fábricas de elementos pré-moldados e pavimentos de concreto.

Conforme Bazuco (1999), o agregado proveniente de RCD de concreto possui menor massa específica, devido à maior quantidade de argamassa aderida à superfície dos agregados. A massa específica por ele encontrada, para o agregado graúdo reciclado é em média  $2,31 \text{ kg/dm}^3$ , em virtude da argamassa aderida ao agregado natural.

Ao se utilizar agregados reciclados em concretos para fins estruturais deve-se ter um cuidado com relação às propriedades de deformabilidade, devido à alta porosidade do material, pois a retração por secagem em concretos reciclados pode ser até 60% maior, se comparada à retração dos concretos produzidos com agregados naturais. No caso de se utilizar o agregado miúdo reciclado em concretos estruturais, outro fator limitante pode ser a grande quantidade de finos, que ocasiona uma maior fluência do concreto (BUTLER, 2003).

Uma das maiores dificuldades relacionadas à reciclagem desses resíduos refere-se à separação eficiente da fração representada pelos resíduos de concreto das demais fases presentes nos RCD (argamassa, cerâmica, madeira, plástico, etc.), com o objetivo de atender as especificações normativas de agregados para a produção de concreto estrutural, as quais geralmente tratam do emprego de resíduos de concreto.

Considerando os resíduos gerados em obras, geralmente é feita a segregação seletiva desses materiais separando-se a fração não mineral (madeira, plástico, metal, etc.) da fração mineral (concreto, argamassa, cerâmica, etc.), fato esse que já ocorre com algumas construtoras da cidade de São Paulo (LOTURCO, 2004).

Segundo Angulo (2005), o processo de triagem dos resíduos reduz os custos de deposição e facilita a reciclagem, já que certos tipos de materiais podem ser reciclados por processos distintos.

Com relação aos resíduos gerados durante a etapa de construção, Jadovski (2005) cita alguns fatores que contribuem para a geração de RCD nessa fase: a qualidade inferior dos materiais e componentes de construção disponíveis no mercado, a indefinição e detalhamento insuficientes nos projetos, a mão de obra não

qualificada e ausência de procedimentos operacionais e mecanismos de controle de execução e inspeção.

Jadovski (2005) cita, com base em diversos trabalhos, que a composição dos resíduos varia de acordo com a fase da obra e com o tipo de obra.

Segundo Costa et al. (2004), algumas concreteiras brasileiras já estão preocupadas com o destino das sobras de concreto e, nesse sentido, estão investindo em equipamentos e tecnologias com o objetivo de reaproveitar e reciclar esses resíduos.

## 2.6 RESÍDUOS POZOLÂNICOS E NÃO POZOLÂNICOS

Muitos estudos estão sendo feitos com diferentes tipos de materiais pozolânicos e não pozolânicos, estes materiais são sobras de obras de construção, indústrias, entre outros, testes são feitos para verificar a possibilidade de reaproveitamento e diminuição da deposição dos mesmos no meio ambiente, fazendo assim, com que haja uma economia da matéria prima principal do concreto, como cimento, areia e brita, que estão cada vez mais escassos.

Segundo Petrucci (1993), pozolanas são materiais silicosos ou sílico-aluminosos, sem ou com pouco valor como aglomerante que, finamente moídos e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento e formam compostos com propriedades aglomerantes. Além da ação química, as pozolanas possuem ação física, atuando como material de enchimento (filler), produzindo um arranjo mais eficiente na interface agregado-pasta de cimento, reduzindo a segregação e aumentando a densidade e homogeneidade. Neste trabalho, foi verificado que os resíduos de concreto finamente moídos apresentaram atividade pozolânica, indicando haver possibilidade de substituição de parte do cimento portland na produção de grautes, argamassas e concretos.

Estudos feitos por Gomes Correia et al. (2005) concluem que o uso de mármore e resíduos de granito de até 50% em peso de cimento não afetar as propriedades dos concretos e confirmam também que a adição de resíduos contribui para a realização das propriedades do auto adensável.

Girbes et al. (2008) avaliaram as possibilidades de substituição do filer calcário por mármore. Micro testes estruturais têm demonstrado que a adição de filer de mármore permite hidratação do cimento durante um curto período de tempo. Em geral, a utilização de resíduos de mármore como uma alternativa para o depósito de calcário não altera a hidratação final da pasta de cimento Portland.

Mais recentemente, alguns argumentos ambientais começaram a prevalecer, em particular a necessidade de diminuir a produção de CO<sub>2</sub> globais relacionados a utilização de cimento em concreto (HABERT; ROUSSEL, 2009).

Como uma boa alternativa para a diminuição da utilização do cimento, se apresenta o metacaulin, um material ambientalmente correto que podem ser preparados a partir de argilas caulínicas sem a produção de CO<sub>2</sub>, porém esse material, foi utilizado só raramente em misturas de CAA (GUNEYISI et al., 2009).

O preço do metacaulim é geralmente na maioria dos mercados maior do que o cimento, isso devido à sua baixa quantidade de produção e em parte porque as estratégias de mercado específico de produtos particulares. Portanto, a principal motivação para o uso da metacaulin no concreto, em geral, é mais tecnológico ou ambiental do que econômica (VEJMELKOVÁ et al., 2010).

Güneyisi et al. (2008) realizaram um trabalho experimental para investigar a influência de metacaulin sobre a resistência, a secagem, e a retração na estrutura de poros do concreto. Eles relataram que a inclusão do metacaulin notavelmente reduziu a tensão de secagem devido ao encolhimento, e ainda aumentou os pontos fortes do concreto em diversas magnitudes.

Outro material que esta começando a ser introduzido no cenário nacional através de pesquisas de diversas entidades, são vários tipos de fibras e os restos de pneus que geralmente são depositados em vários locais irregulares, essas fibras e pneus estão sendo reaproveitados como material integrante no concreto, com isso, configurando um novo tipo de concreto e diversificando a sua utilização.

Poucos estudos publicados estão relacionados com o efeito de fibras sobre as propriedades do CAA nos estados fresco e endurecido. Foi mostrado que a inclusão de pequenas quantidades de fibras não modificam significativamente o desempenho CAA, mas pode controlar abertura de fissura devido ao encolhimento em idade precoce (BARLUENGA; HERNÁNDEZ-OLIVARES, 2007).

Recentemente, dois ou mais tipos de fibras são combinados na mesma matriz de concreto de uma forma adequada para ter um máximo de sinergias em termos de resistência à flexão e encolhimento (AYDIN, 2007)

Nos últimos 20 anos, devido ao grande aumento no número de carros em todo o mundo, a acumulação de grandes volumes de pneus inservíveis tem tornado-se um problema de gestão de resíduos (GANJIAN et al., 2009).

A grande maioria dos países quer evitar e/ou proibir o armazenamento ou deposição de pneus inservíveis, proporcionando um incentivo significativo para explorar estratégias de reciclagem, esta implica em transformá-los em agregados alternativos, portanto, gerar maior valor econômico e ao mesmo tempo reduzir o consumo de agregados primários (NANJIM, 2005).

Pesquisas mais recentes têm observado no concreto auto-adensável com borracha, um grande potencial de substituição de areia natural, pela borracha granulada sem a necessidade de o agregado fazer um pré-tratamento (BIGNOZZI; SANDROLINI, 2006).

Em termos de comportamento mecânico mostrou-se um pouco incomum, pois não obedece equações empíricas relacionadas ao módulo de elasticidade para a resistência à compressão, porém, exibiu aumentos consideráveis na capacidade de deformação e, portanto, a melhora da ductilidade (TURATSINZE; GARROS, 2008).

Ainda há casos, como o de pneus moídos, que são utilizados não para dar a coesão necessária ao CAA, e sim para melhorar outras propriedades, como, por exemplo, o módulo de elasticidade e o isolamento acústico e térmico, como na publicação de Bignozzi e Sandrolini (2006).

Khatib (2008) estudou a influência das cinzas volantes, que foi substituído pelo cimento Portland em até 80%, sobre o retração por secagem dos concretos. Ele concluiu que o encolhimento em 56 dias, diminuiu em dois terços comparados com o concreto de controle.

Portanto, essas cinzas de combustível (comumente chamado de cinzas volantes) é das adições mais utilizadas no concreto devido aos benefícios de redução de calor e reatividade pozolânica, portanto, tem sido extensivamente investigadas por vários anos. O uso típico é de cerca de 15-30% substituição do cimento (MARSH, 2003).

Cabral (2007) aborda, além das propriedades mecânicas, alguns aspectos de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados. Segundo ele, independentemente do tipo de agregado reciclado que é inserido em uma nova matriz de concreto, este concreto contará com um maior volume de poros em sua totalidade. O autor sugere que a alteração no volume de poros irá resultar na alteração da velocidade de carbonatação.

Adições minerais também podem ser utilizadas com o intuito de aumentar a coesão da mistura, evitando, assim, a segregação. Essas adições são escolhidas após análises técnicas e econômicas e são classificadas de acordo com sua ação físico-química em dois grupos: adições minerais com atividade quimicamente ativa ou sem essa atividade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008). As ativas podem utilizar tanto material pozolânico, definido como material que reage quimicamente com  $\text{Ca(OH)}_2$ , como cimentante, que já possui na sua composição esse elemento.

Tutikian e Dal Molin (2008) lembram, ainda, que quando não possuem atividade química os materiais são chamados de fíler e possuem ação restrita a um efeito físico de empacotamento granulométrico. São materiais uniformes e finos podendo ser naturais ou inorgânicos processados. São exemplos tradicionais na produção do CAA, o pó calcário e a areia fina.

Troli et al. (2003) descrevem o desenvolvimento de CAA para estruturas massivas. A mistura foi dosada com baixo consumo de cimento e com o agregado gráudo com elevado  $D_{\text{máx}}$ , para diminuir a possibilidade de fissuras térmicas. E, novamente, o alto teor de cinza volante foi o responsável pela resistência à segregação do material.

Colleparidi (2003) cita a utilização da nano sílica como material coesivo para o CAA. A nano sílica é baseada em partículas de 5-50 nm, menores que o diâmetro médio das partículas de sílica ativa já utilizadas, em torno de 0,1-1 mm. O material é utilizado na forma líquida, com concentração entre 10 e 50% de sólidos.

Vieira et al. (2003) concluíram que o uso de agregado reciclado no concreto, em proporções convenientemente dosadas, não provoca corrosão da armadura, ou seja, não implica redução de durabilidade quando comparado ao concreto produzido, exclusivamente, com agregados naturais.

Buttler e Machado Jr. (2003) informam que o processo de britagem utilizado determinou as características dos resíduos, a granulometria e a quantidade de argamassa aderida aos agregados.

Aguiar et al. (2002) concluíram que substituições de agregados naturais em teores de até 20% não apresentam alterações significativas na resistência a compressão, embora a absorção de água tenha apresentado uma diferença sensível, fato que indica a necessidade de cuidados especiais, caso se queira utilizar esses agregados em concretos com funções estruturais.

## 2.7 MÉTODOS DE DOSAGENS DE CAA

Para o trabalho proposto, Tutikian (2004) realizou ensaios de concreto baseado no método IPT/EPUSP para concretos convencionais, foi proposto o desenvolvimento de um novo método de dosagem para o CAA, em seu trabalho foram feitas substituições por adições de materiais finos, como fíler calcário, cinza de casca de arroz e metacaulim, assim como aditivos super plastificantes e modificadores de viscosidade.

Os agregados utilizados foram os mesmos usados no concreto convencional, areia natural e brita com dimensão máxima de 19 mm. Realizou-se uma análise de custo unitário, na qual foram avaliados os custos com materiais e mão-de-obra para a confecção dos concretos em estudo. Diversos ensaios foram feitos para a concepção desses concretos, para poder testar suas propriedades no estado fluido.

Porém em 2005, Melo realizou estudos de dosagens do CAA, para desenvolver um método, baseando-se na resistência à compressão, onde no trabalho foi adotado resistências entre 20 a 40 MPa. O método proposto permite que a resistência à compressão seja o ponto de partida para a confecção do concreto

Em 2007 Tutikian propôs um novo método de dosagem experimental para CAA, onde foram dosados vários traços de concreto, como adições foram utilizadas areia fina e cinza volante, para as dosagens do concreto os agregados miúdos e graúdos eram os mesmos utilizados em concretos convencionais.

Os ensaios realizados para a avaliação do desempenho do CAA foram *slump flow test*, funil V e caixa L. O método se mostrou adequado para o uso com qualquer tipo de material, e devido a suas adições propostas, foi possível confeccionar um concreto com melhor resistência comparando-se ao concreto base.

A cinza volante ainda proporcionou uma ótima adição, devido a sua finura em seu estado plástico, em função das propriedades do concreto auto-adensável.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos utilizados na realização deste trabalho.

#### **3.1 MATERIAIS**

##### **3.1.1 Cimento Portland**

Foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial). Este é um cimento de alta resistência inicial, que tem alta reatividade em suas primeiras idades em função do grau de moagem a que é submetido. Este cimento atende a NBR 5733 (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial).

##### **3.1.2 Agregados miúdos**

Os agregados são os utilizados na própria região. A princípio, foram utilizados dois tipos de areia, para se conseguir uma melhor coesão do concreto, uma areia média fina em conjunto com uma areia somente fina, para se obter a proporção ideal entre ambas e assim uma melhor mistura final do concreto. Nas fig. 1 e 2 podem ser observados os dois tipos de areia que foram utilizadas neste trabalho.

Figura 1 - Areia fina.



Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - Areia média fina.



Fonte: Próprio autor.

### 3.1.3 Agregados graúdos

O agregado graúdo é o utilizado na região, optando-se pelo pedrisco, também conhecido como brita zero. Recomenda-se este agregado, pois, a segregação provocada pela falta de coesão da argamassa é menos intensa, podendo então, ser mais econômico o traço final usado no concreto. Na fig. 3, pode ser observada a brita usada para a confecção dos concretos.

Figura 3 - Brita.



Fonte: Próprio autor.

#### 3.1.4 Resíduos de concreto

Foram utilizados resíduos de concreto oriundos da demolição de calçadas, que foram confeccionadas há 50 anos na cidade de Ilha Solteira. A fig. 4 mostra os resíduos retirados, já a fig. 5, mostra o triturador que foi utilizado e na fig. 6 se observa o resíduo de concreto sendo peneirado no laboratório da CESP em Ilha Solteira – SP.

Estes resíduos foram preparados em um triturador a fim de se obter o material reciclado a ser utilizado neste trabalho em substituição de parte da areia fina. Foram realizados ensaios de caracterização destes agregados, incluindo, análise granulométrica, atividade pozolânica, absorção, material pulverulento e material friável.

Foram confeccionados duas granulometrias diferentes para o resíduo de concreto, com o uso de peneiras no laboratório da CESP em Ilha Solteira – SP, uma granulometria mais grossa onde a primeira peneira utilizada foi a de 4,75 mm, como se fosse uma granulometria média e outra mais fina, onde a primeira peneira utilizada foi a de 600  $\mu\text{m}$ , tornando-se assim uma granulometria muito fina.

Figura 4 - Entulho retirado das calçadas.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 - Triturador usado no trabalho.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 - Resíduo de concreto sendo peneirado no laboratório.



Fonte: Próprio autor.

### 3.1.5 Aditivos

Os aditivos utilizados são super plastificantes à base de policarboxilatos. Este tipo de aditivo é essencial para a fabricação do concreto alto-adensável.

No trabalho foi usado o aditivo viscocrete 5700, que é um aditivo líquido de terceira geração para o CAA, porém, também é usado para vários tipos de concreto.

As propriedades obtidas com esse tipo de aditivo são diversas, desde uma baixa relação  $a/c$ , redutor de fissuras e retrações, assim como aumento da impermeabilidade, durabilidade e do módulo de elasticidade.

### 3.1.6 Água

Foi utilizada água potável proveniente da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira - SP.

## 3.2 MÉTODOS

Nesta seção serão descritos os ensaios de caracterização dos materiais, que são de extrema importância para fabricação dos traços de concreto, sendo que para todos os ensaios existem normas brasileiras, as quais foram seguidas para execução dos ensaios.

### 3.2.1 Cimento Portland

Os ensaios executados seguem os procedimentos estabelecidos pelas normas brasileiras pertinentes, conforme descrição a seguir:

- Determinação da resistência à compressão (ABNT NBR 7215:1996 Versão Corrigida:1997);
- Determinação dos tempos de pega (ABNT NBR NM 65:2003);
- Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) (ABNT NBR NM 76:1998);
- Finura na peneira # 200 (%) (ABNT NBR 11579:1991);
- Finura na peneira # 325 (%) (ABNT NBR 9202:1985);
- Massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (ABNT NBR NM 23:2001);
- Massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (ABNT NBR NM 23:2001); e
- Expansão em autoclave.

### 3.2.2 Agregados miúdos

Os ensaios realizados seguem abaixo:

- Análise Granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003a));
- Massa Específica do Agregado Miúdo (NBR NM 52 (ABNT, 2003b));
- Massa Unitária Seca (NBR NM 45 (ABNT, 2006));
- Teor de Materiais Pulverulentos (NBR NM 46 (ABNT, 2003c)); e
- Impurezas Orgânicas (NBR NM 49 (ABNT, 2001b)).

### **3.2.3 Agregados graúdos**

Os ensaios realizados seguem abaixo:

- Analise Granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003a);
- Massa Unitária Seca (NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- Teor de Materiais Pulverulentos (NBR NM 46 (ABNT, 2003c); e
- Massa Específica e Absorção Agregado Graúdo (NBR NM 53 (ABNT, 2003d).

### **3.2.4 Resíduos de concreto**

Os ensaios realizados seguem abaixo:

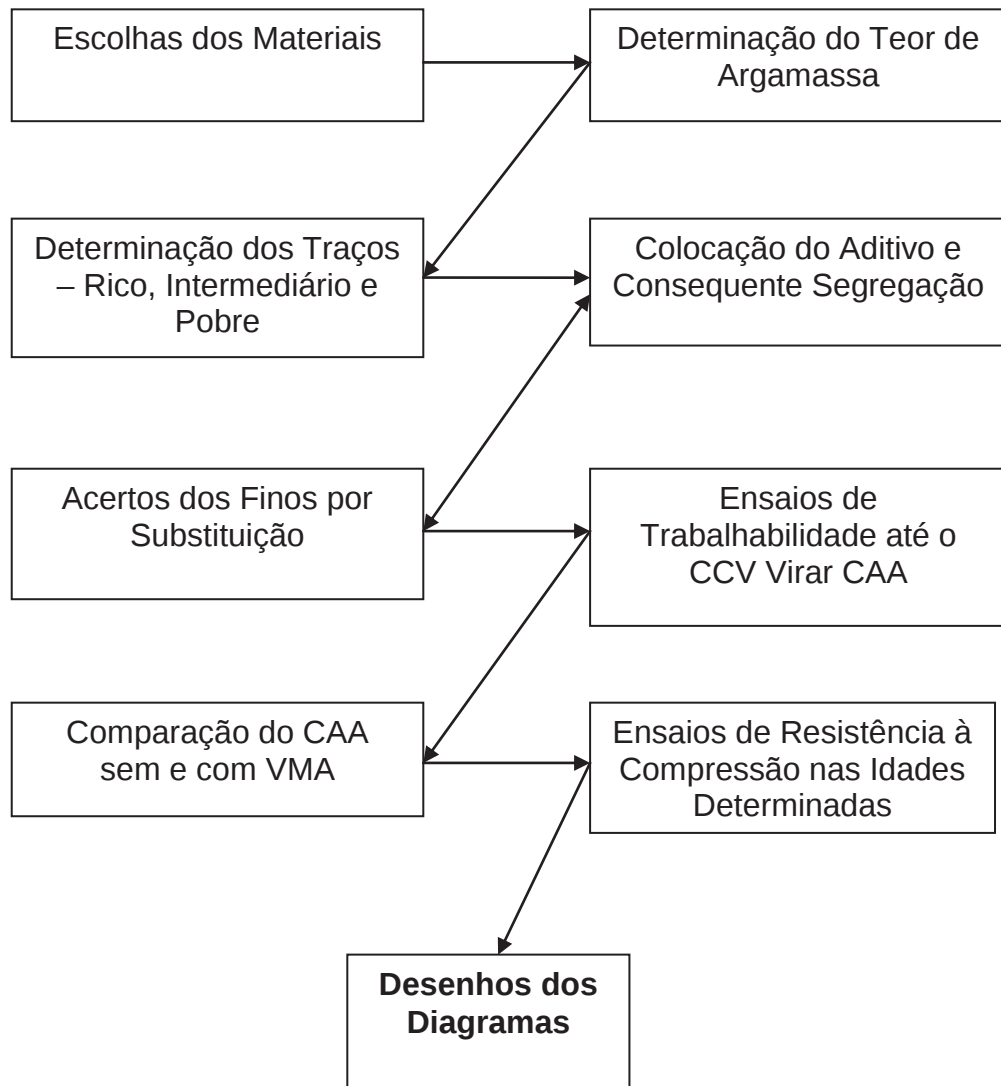
- Analise Granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003a));
- Massa Específica do Agregado Miúdo (NBR NM 52 (ABNT, 2003b));
- Massa Unitária Seca (NBR NM 45 (ABNT, 2006));
- Teor de Materiais Pulverulentos (NBR NM 46 (ABNT, 2003c));

### **3.2.5 Método de dosagem**

O método proposto por Tutikian (2004) é baseado no método de dosagem para Concreto Convencional Vibrado (CCV) (IPT/EPUSP), essa técnica exige a moldagem de três traços de concreto ou mais para que se possa desenhar o diagrama de dosagem.

Os passos que foram seguidos estão representados na fig. 7, obedecendo a sequência proposta pelo método, visando assim chegar a bom nível de qualidade da dosagem. A seguir é feita uma breve apresentação do método proposto por Tutikian.

Figura 7 - Dosagem do CAA



Fonte – Tutikian, 2004

A escolha dos materiais foi feita respeitando-se os limites impostos pelo próprio CAA, como o diâmetro máximo do agregado graúdo, cumpre salientar que se pode optar por fazer uma mistura desse agregado graúdo, entre pedrisco e brita 1, visando a uma melhor mistura para a produção do concreto em questão.

Os agregados miúdos respeitaram alguns limites, para que não ocorresse segregação do concreto. Junto a este conceito entra a substituição por adições, que ajudarão no combate à segregação no estado fluido.

Esses finos podem ser pozolânicas ou não pozolânicas. Alguns exemplos de finos pozolânicos são cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacaulim, escória alto forno e outros, que substituirão o cimento em massa. Já os finos não pozolânicos podem ser cerâmica moída, fíler calcário, areia fina e outros, que substituirão o agregado graúdo em massa.

A determinação do teor de argamassa seca passa por uma série de fórmulas propostas por Tutikian (2004), essas diferenciam de acordo com o material empregado no concreto, devido a suas substituições por finos. Nesta fase o concreto ainda é convencional, sem aditivos e sem finos.

Para a próxima etapa foram escolhidos três traços de referência para o desenho do diagrama de dosagem, um rico, um intermediário e um pobre, visando assim a plotagem das curvas de dosagem. Nessa etapa o teor de argamassa já foi determinado, devendo sempre ser o mesmo para os três traços a serem produzidos, de modo que sejam considerados da mesma família.

Com a colocação do aditivo o concreto foi se tornando auto-adensável. Este aditivo varia em função da massa do aglomerante, devido aos cimentos existentes e, principalmente, à grande variedade de aditivos. Esses aditivos foram colocados inicialmente em pequena quantidade, e aumentando até se chegar a um ponto ideal, identificado visualmente. É importante que esse teor de aditivos seja igual para todos os traços, sendo essa porcentagem a mesma utilizada em todos os traços em relação ao cimento.

Nesta fase, depois da colocação do aditivo, o concreto ficou no seu estado fluido e segregando, isso foi resolvido com a colocação de finos em substituição de parte do agregado miúdo já existente no concreto. Como já foi dito, se o material fino escolhido for pozolânico ou cimentante (cinza volante, sílica ativa, metacaulim, escória de alto forno, cinza de casca de arroz), substitui-se o cimento, mas se for não pozolânico (pó de brita, fíler calcário, cerâmica moída, areia fina), como é o caso do resíduo de concreto, substitui-se o agregado miúdo, dando ao concreto uma melhor coesão. Esses finos, em uma determinada proporção, farão com que o concreto pare de segregar.

Tutikian (2004) apresenta na tabela 7, como exemplo para um CAA 1:3 (massa de aglomerantes/massa de agregados secos), de teor de argamassa seca em 53% e com finos não pozolânicos.

Tabela 7 - Exemplo para um CAA 1:3

| TRAÇO<br>UNITARIO<br>(c:f:a:b) | CIMENTO (kg)   |           | FINOS (kg)     |           | BRITA (kg)     |           |
|--------------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
|                                | Massa<br>total | Acrescimo | Massa<br>total | Acrescimo | Massa<br>total | Acrescimo |
| 1:0:1,12:1,88                  | 8,93           |           | 0,00           |           | 16,79          |           |
| 1:0,1:1,02:1,88                | 9,80           | 0,87      | 0,98           | 0,98      | 18,42          | 1,64      |
| 1:0,2:0,92:1,88                | 10,87          | 1,07      | 2,17           | 1,19      | 20,44          | 2,01      |
| 1:0,3:0,82:1,88                | 12,19          | 1,32      | 3,66           | 1,49      | 22,92          | 2,48      |
| 1:0,4:0,72:1,88                | 13,89          | 1,70      | 5,56           | 1,90      | 26,11          | 3,20      |
| 1:0,5:0,62:1,88                | 16,13          | 2,24      | 8,06           | 2,50      | 30,32          | 4,21      |
| 1:0,6:0,52:1,88                | 19,23          | 3,10      | 11,54          | 3,48      | 36,15          | 5,83      |
| 1:0,7:0,42:1,88                | 23,81          | 4,58      | 16,67          | 5,13      | 44,76          | 8,61      |
| 1:0,8:0,32:1,88                | 31,25          | 7,44      | 25,00          | 8,33      | 58,75          | 13,99     |
| 1:0,9:0,22:1,88                | 45,46          | 14,21     | 40,91          | 15,91     | 85,46          | 26,71     |
| 1:1:0,12:1,88                  | 83,34          | 37,88     | 83,34          | 42,43     | 156,68         | 71,21     |

Fonte: Tutikian (2004).

Para se realizar os ensaios de trabalhabilidade, o material foi visualmente observado para se identificar uma possível exsudação, segregação e sua fluidez, e só então, foram realizados os testes. Quando o concreto já estava com as características do CAA, essas características foram alcançadas quando as proporções do super plastificantes e das adições, transformaram o concreto de sua fase fluida, para uma mistura mais coesa e menos fluida, de modo a se evitar a segregação.

O autor do método também propôs uma comparação do CAA com e sem Aditivos Modificadores de Viscosidade (VMA). Este seria usado para substituir os materiais finos responsáveis por dar coesão ao concreto, porém, geralmente essa substituição resultaria em um concreto mais oneroso. Portanto, são necessários

testes e comparações entre os dois traços para que se chegue ao melhor custo benefício para que seja escolhido o mais rentável. No estudo em questão não foi usado o VMA.

O uso do aditivo modificador de viscosidade é necessário, quando não existirem esses finos para a substituição em certas regiões, sendo obrigatória a utilização de cimento como parte integrante do material fino para se obter a devida coesão. Com isso aumenta-se o custo do concreto e também as suas patologias.

Os dois últimos passos foram os ensaios de compressão e o desenho do diagrama de dosagem. Os dados obtidos nos ensaios de compressão foram utilizados para o desenho do diagrama e para o cálculo das equações de comportamento e coeficientes de correlação, com o valor da resistência à compressão (MPa), que se somam à relação  $a/agl$ , traço 1:m e o consumo de cimento por metro cúbico ( $kg/m^3$ ).

### **3.2.6 Realização do estudo de dosagem**

Usando o método de dosagem de Tutikian (2004), foi estabelecido o teor ideal de argamassa seca igual a 60% para o traço intermediário 1:4. Em seguida, foi realizada a moldagem obedecendo-se a seguinte ordem de adição e mistura dos materiais:

- Foram lançados inicialmente, na betoneira previamente umidificada, os agregados graúdo, miúdo e os resíduo de concreto quando este estava presente no traço, juntamente com metade da massa total de água;
- Foi aplicado o tempo de mistura dos materiais de 1 minuto;
- Posteriormente foram lançados o aglomerante e o restante da massa de água;
- Os materiais foram misturados por mais 3 minutos;
- Lançou-se o aditivo super plastificante; e
- Por fim, os materiais foram misturados por mais 5 minutos.

Nas fig. 8 e 9, pode-se observar o concreto antes e após a colocação do aditivo, respectivamente.

Figura 8 - Concreto antes da colocação do superplastificante.



Fonte: Próprio autor.

Figura 9 - Concreto após a colocação do superplastificante.



Fonte: Próprio autor.

Para a produção de concreto foram feitas três dosagens para cada traço. De acordo com o método, o controle da quantidade de água e do consumo de aditivo foi efetuado tendo como base os ensaios descritos abaixo. Foram moldados dois corpos-de-prova cilíndricos (10x20 cm<sup>2</sup>), por idade de ruptura (7, 14, 28 e 56 dias), para os traços de dosagens.

Decorridos 24 horas da moldagem dos corpos-de-prova, estes foram desmoldados e curados em câmara úmida com ciclos contínuos de aspersão de água. Antes da ruptura os corpos-de-prova receberam capeamento com argamassa de enxofre conforme recomendação da NBR 7215 (ABNT, 1996).

No total foram confeccionados 160 corpos-de-prova, fixando-se o teor de argamassa e a porcentagem de aditivo em relação ao cimento, variando-se somente o fator a/c de cada mistura.

### **3.2.7 Moldagem dos corpos de prova e capeamento**

A aparelhagem usada para a moldagem dos corpos de prova foram somente os moldes e a concha, pelo fato de se estar trabalhando com CAA, pois não há necessidade de adensamento, dispensando-se o trabalho com a haste de adensamento ou mesa vibratória.

Os moldes segundo a NBR 5738/2003, seguem os seguintes requisitos:-

- Devem ser confeccionados em aço ou outro material não absorvente, devendo ser quimicamente inerte aos componentes do concreto;
- Não devem sofrer deformações durante a moldagem dos corpos-de-prova;
- Devem ter as superfícies internas lisas e sem defeitos; e
- Os moldes cilíndricos e os prismáticos devem possuir dispositivos de fixação às respectivas placas da base.

A fig. 10 mostra os corpos-de-prova moldados, ainda em seu estado fluido, logo após terem sido misturados na betoneira.

Figura 10 - Corpos-de-prova moldados, ainda em seu estado fluido.



Fonte: Próprio autor.

Deve ser usada concha para a colocação do concreto dentro dos corpos de prova, este concreto foi colocado em três camadas, por corpo de prova, porém, sem adensamento mecânico.

Para a preparação dos moldes, segundo a NBR 5738/2003, foram seguidos os seguintes procedimentos:

- Vedação das juntas com mistura de cera virgem e óleo mineral para evitar vazamentos.
- Após a montagem, os moldes foram lubrificados internamente com uma fina camada de óleo mineral.

A cura foi iniciada imediatamente após a moldagem para se evitar a perda de água do concreto. Com desfôrma após 24 horas, quando então os corpos-de-prova foram levados para câmara úmida para a realização da cura.

Os ensaios de compressão dos corpos de prova foram realizados no Laboratório CESP de Engenharia Civil em Ilha Solteira – SP.

A fig. 11, mostra onde foram feitos os capeamentos dos corpos de prova no laboratório da CESP em Ilha Solteira – SP.

Figura 11 - Local de capeamento de corpos de prova.



Fonte: Próprio autor.

A fig. 12 mostra a prensa para realização do ensaio de compressão axial, assim como, o mostrador analógico que fornece a leitura da carga aplicada.

Figura 12 - Prensa do laboratório.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.8 Método da AMEBA

Este método possibilita a previsão da resistência do concreto a partir de resultados a baixas idades, para se chegar a uma estimativa de resistência para concretos com altas idades.

O método consiste no seguinte processo, sabendo que:

$f_{cb}$  - resistência à compressão do concreto à baixa idade

$f_{cm}$  - resistência à compressão do concreto à média idade

$j_a$  - alta idade em dias

$j_m$  - média idade em dias

$j_b$  - baixa idade em dias

Determina-se o número AMEBA:

$$AMEBA = \frac{j_a^{-0,5} - j_b^{-0,5}}{j_m^{-0,5} - j_b^{-0,5}}.$$

A resistência à compressão do concreto à alta idade ( $f_{ca}$ ) será obtida pela fórmula:

$$f_{ca} = \frac{f_{cm}^{AMEBA}}{f_{cb}^{AMEBA-1}}$$

### 3.2.9 Método da fórmula da NBR 6118 (2004)

Segundo a NBR 6118, quanto à verificação se faz em data  $j$  inferior a 28 dias, adota-se a expressão:

$$f_{cd} = \frac{f_{cj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \left( \frac{f_{cj}}{\gamma_c} \right)$$

sendo  $\beta_1$  a relação  $\frac{f_{ckj}}{f_{ck}}$  dada por:

$$\beta_1 = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

onde:

$s = 0,38$  para concreto de cimento CIII e IV;

$s = 0,25$  para concreto de cimento CI e II;

$s = 0,20$  para concreto de cimento CPV-ARI;

$t$  é a idade efetiva do concreto, em dias.

Essa verificação deve ser feita aos  $t$  dias, para as cargas aplicadas até essa data. Ainda deve ser feita a verificação para a totalidade das cargas aplicadas aos 28 dias.

Neste caso, o controle da resistência à compressão do concreto deve ser feito em duas datas: aos  $t$  dias e aos 28 dias, de forma a se confirmar os valores de  $f_{cj}$  e  $f_{ck}$  adotados no projeto.

### 3.3 ENSAIOS DE CONCRETO

Para medir as propriedades necessárias do CAA, os ensaios deverão verificar a sua fluidez, coesão e a resistência à segregação. Para isso foi desenvolvido uma serie de equipamentos para este novo tipo de concreto.

Apesar desses equipamentos ainda não serem normatizados, muitos autores utilizam os mesmos testes, porém com medidas e intervalos diferentes. A tabela 8 demonstra os aparelhos que são mais recomendados do que outros para cada tipo de verificação necessária do concreto.

A seguir será feito um breve relato dos ensaios utilizados para o concreto confeccionado para a referente pesquisa, como poderá ser visto, todas as propriedades requeridas para a confecção do concreto foram analisadas.

Tabela 8 - Ensaios para a medição da trabalhabilidade do CAA.

| Ensaios               | Utilização  |          | Propriedades avaliadas |            |        |
|-----------------------|-------------|----------|------------------------|------------|--------|
|                       | Laboratório | Canteiro | Fluidez                | Hab. Pass. | Coesão |
| <i>Slump flow</i>     | X           | X        | XXX                    | N          | X      |
| <i>Slump flow</i> T50 | X           | X        | XXX                    | N          | X      |
| V-Funnel              | X           | X        | XX                     | N          | X      |
| V-Funnel 5 min        | X           | X        | X                      | N          | XXX    |
| L-Box                 | X           | N        | N                      | XXX        | XX     |
| U-Box                 | X           | N        | N                      | XXX        | XX     |
| Fill-Box              | X           | N        | N                      | XX         | XX     |
| U-Pipe                | X           | N        | X                      | N          | XXX    |
| Orimet                | X           | X        | XX                     | X          | X      |
| J-Ring                | X           | X        | N                      | XX         | XX     |

XXX – altamente recomendável; XX – recomendável; X – pouco recomendável; N – não relevante.

Fonte: Adaptado de Peterssen (1999, p. 3).

### 3.3.1 Slump flow test

Este ensaio traduz a capacidade de enchimento da forma, assim como a ocorrência de segregação que pode, também, ser examinada visualmente.

Este ensaio permitiu avaliar a trabalhabilidade do CAA no seu estado fresco, somente pela ação do peso próprio a partir da observação da velocidade de deformação e do diâmetro de espalhamento.

Para a realização do ensaio foi necessário uma base de 1000 x 1000 mm<sup>2</sup> e um cone que não absorvente, que não provocasse atrito entre o material e a devida placa. Na parte central da base, demarcou-se um círculo com 200 mm de diâmetro, na qual foi feita a colocação do cone.

Segundo Gomes e Barros (2009), o diâmetro final do ensaio para um CAA deve estar entre 600 e 800 mm. Nas misturas onde há segregação, geralmente os agregados grossos, ficam próximos ao centro, ao mesmo tempo em que na borda do espalhamento se pode verificar uma separação da pasta ou da argamassa do resto dos agregados.

Para a realização do ensaio foi umedecida a placa e o tronco de cone para que eles não retenham água do concreto, assim como foi colocado sobre um base firme e nivelado.

Foram usados seis litros de concreto no preenchimento do cone, removendo-se o excesso com uma espátula. Na sequência foi realizada a retirada do cone, provocando assim o espalhamento do CAA sobre a placa. As leituras do espalhamento foram efetuadas em duas direções perpendiculares. A média destas medidas é o valor do *slump flow test*.

Na fig. 13, observam-se os equipamentos necessários para a execução do ensaio e, na fig. 14, observa-se um exemplo do ensaio, sem segregação.

Figura 13 - Ensaio de slump flow test.



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Resultado do ensaio de *slump flow test*.



Fonte: Próprio autor.

Na tabela 9 encontram-se indicados os limites mínimos e máximos de espalhamento para um concreto auto-adensável. Espalhamentos abaixo do limite inferior, indicam que o concreto está pouco fluido, e se a medida estiver acima do limite superior, deve-se tornar o concreto mais coeso.

Tabela 9 - Limites de espalhamento para o *slump flow test*.

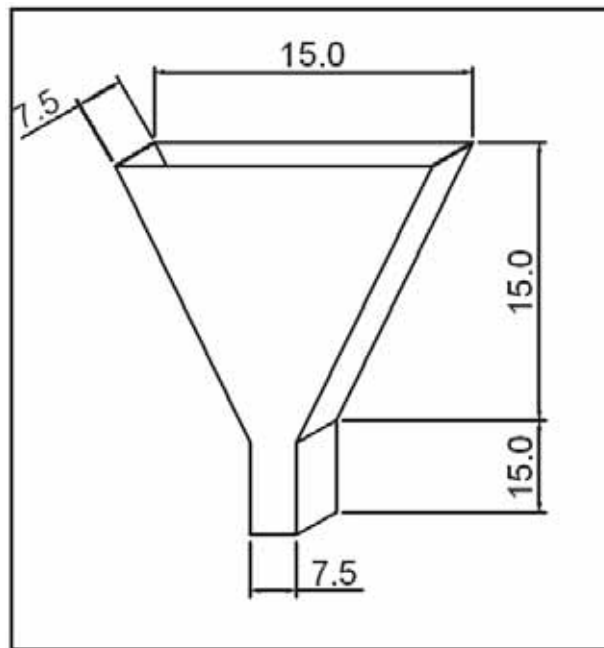
| Referencias                   | Espalhamento (mm) |        |
|-------------------------------|-------------------|--------|
|                               | Mínimo            | maximo |
| EFNARC (2002)                 | 650               | 800    |
| Gomes (2002)                  | 600               | 700    |
| Gomes et al. (2003a)          | 600               | 750    |
| Araujo et al. (2003)          | 650               | 800    |
| Rigueira Victor et al. (2003) | 600               | 800    |
| Barbosa et al. (2002)         | 550               | 700    |
| Peterssen (1999)              | 650               | 725    |
| Tviksta (2000)                | 600               | -      |
| Coppola (2000)                | 600               | 750    |
| Palma (2001)                  | 650               | 750    |

### 3.3.2 Funil-V

Este ensaio permitiu verificar a fluidez do CAA, isto é, permitiu avaliar a capacidade do concreto fresco de passar entre pequenas aberturas, o que envolve a viscosidade, através da determinação da velocidade de escoamento de uma amostra, que foi feita medindo-se o tempo que o material leva para escoar pelo funil. Este procedimento foi repetido após 5 minutos visando à determinação da resistência à segregação. Se houver um aumento substancial do tempo de escoamento, isto significa que o CAA irá segregar. A boca estreita no fundo do funil serve para que se possa observar a possibilidade de bloqueio da mistura pelo aumento do contato entre os grãos.

A principal informação obtida neste ensaio foi o tempo de fluidez. Na fig. 15 se observam duas possibilidades de aparelhos para a realização deste ensaio, com as dimensões adaptados de Gomes (2002).

Figura 15 - Funil-V.



Fonte: Adaptado de Gomes (2002, p. 10).

Para a realização do ensaio foram necessárias duas pessoas, devido ao uso do cronômetro, que deve ser acionado no exato momento em que a porta do aparelho é aberta.

O ensaio foi realizado medindo-se o tempo gasto até o instante do completo esvaziamento do funil após a abertura da porta inferior, permitindo assim o escoamento unicamente sob a ação da gravidade. As partes constituintes do aparelho são um funil, uma espátula, uma concha côncava, um cronômetro, assim como uma base para deixar o equipamento suspenso. Esta base deve estar bem fixa e nivelada ao longo da execução do ensaio. A figura 16 ilustra o equipamento utilizado no trabalho experimental.

Figura 16 - Funil – V utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Na tabela 10, estão indicados alguns valores propostos por diversos pesquisadores. Na repetição do ensaio, é aconselhável que o tempo de escoamento do concreto aumente no máximo, três segundos.

Tabela 10 - Valores limites e dimensões consideradas no ensaio funil-V

| Referencias             | Tempo (s) |        | Dimensões (mm) |     |     |          |
|-------------------------|-----------|--------|----------------|-----|-----|----------|
|                         | Mínimo    | Maximo | A              | B   | C   | D        |
| EFNARC (2002)           | 6         | 12     | 490            | 425 | 150 | 65       |
| FURNAS (2004a)          | -         | -      | 515            | 450 | 150 | 65       |
| Gomes (2002)            | 10        | 15     | 515            | 450 | 150 | 65 ou 75 |
| Gomes et al. (2003a)    | 7         | 13     | 515            | 450 | 150 | 65       |
| Araujo et al. (2003)    | 6         | 12     | -              | -   | -   | -        |
| Noor e Uomoto (1999)    | 9,5       | 9,5    | 490            | 425 | 150 | 70       |
| Peterssen (1998 e 1999) | 5         | 15     | 550            | 450 | 120 | 75       |
| Coppola (2000)          | -         | -      | 500            | 425 | 150 | 65       |

### 3.3.3 Caixa L

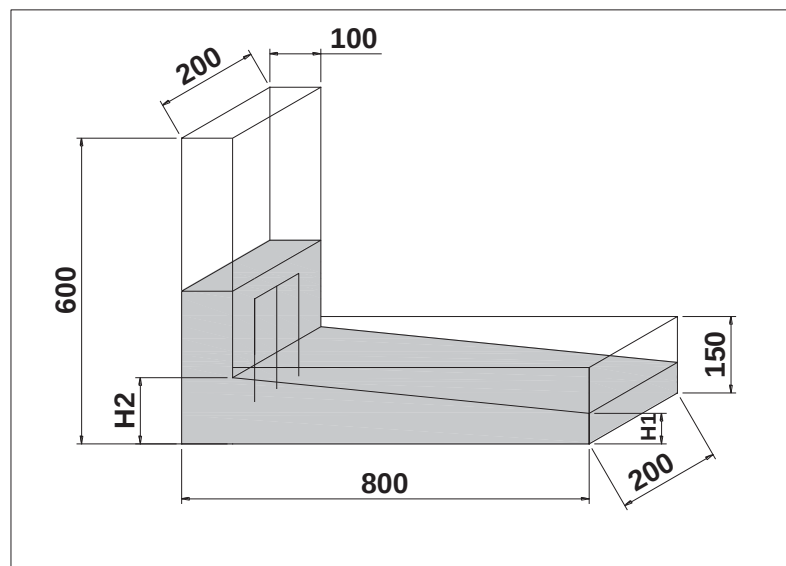
O ensaio da caixa L permitiu avaliar a capacidade de enchimento, capacidade passante por obstáculos e resistência à segregação do CAA no estado fresco.

A caixa L utilizada nos ensaios contém obstáculos que simulam a presença das armaduras no concreto, e serve para avaliar a capacidade passante do CAA por espaços reduzidos e também a capacidade de preenchimento das formas, sem perder a sua característica de coesão, sem a necessidade de vibração mecânica.

Essa característica é fundamental no preenchimento das formas dos elementos pré-moldados, das lajes e de outras estruturas de concreto. A caixa em forma de 'L', contém uma porta móvel separando a parte vertical da horizontal com uma divisória, que é constituída por barras de aço que simulam a armadura.

A fig. 17 ilustra as medidas da caixa L com três barras de aço de 12,5 mm de diâmetro, espaçadas de 40,6 mm entre si.

Figura 17 - Medidas da caixa-L recomendadas



Fonte: EFNARC (2002, p. 27)

Para a execução deste ensaio foram necessários, além da caixa em 'L' feita com material não absorvente e sem atrito, uma espátula, uma pá côncava, uma

trena e existe a possibilidade de usar um cronômetro para a medição do tempo em que o concreto chega aos 200 mm e aos 400 mm, que devem ser marcados no aparelho. Na fig. 18, é demonstrada a Caixa-L usada no trabalho.

Figura 18 - Caixa-L usada no trabalho experimental.



Fonte: Próprio autor

A Caixa L foi fixada em solo nivelado, sendo suas paredes umedecidas e portão móvel testado. O concreto foi colocado na parte vertical, ficando em descanso por 1 minuto para a acomodação dos materiais, quando então se efetuou o levantamento do portão para assim cronometrar o tempo que o concreto demora para alcançar a marca de 200 e de 400 mm.

A fig. 19, ilustra o ensaio da Caixa L em andamento. Medir a altura inicial (H2) e final (H1), onde  $H1/H2$  é o valor procurado, que deve se situar entre 0,80 e 1,00, valor adotado pela maioria dos pesquisadores.

Quanto mais fluida estiver a mistura, mais rápido chegará às marcas de 200 e 400 mm e mais nivelada terminará. Também foi observada a movimentação do concreto durante o ensaio, pois se este estiver segregando ao passar nos obstáculos, o agregado graúdo irá demorar mais a chegar ao final da caixa que a argamassa.

Figura 19 - Ensaio da caixa L sendo executado.



Fonte: Próprio autor

Na tabela 11, são mostrados os valores limite dos parâmetros sugeridos por vários autores.

Tabela 11 - Valores de limite sugeridos por vários autores

| Referencias                   | Medidas |           |         | Dimensões (mm) |     |     |     |     |
|-------------------------------|---------|-----------|---------|----------------|-----|-----|-----|-----|
|                               | H2/H1   | T20 (S)   | T40 (S) | A              | B   | C   | D   | E   |
| EFNARC (2002)                 | 0,80    | -         | -       | 100            | 200 | 600 | 800 | 150 |
| FURNA (2004a)                 | -       | -         | -       | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Gomes (2002)                  | 0,80    | < 1       | < 1     | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Gomes et al. (2003a)          | 0,80    | 0,5 – 1,5 | 2-3     | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Araujo et al. (2003)          | 0,80    | -         | -       | -              | -   | -   | -   | -   |
| Rigueira Victor et al. (2003) | 0,80    | <1,5      | <3,50   | -              | -   | -   | -   | -   |
| Peterssen (1998 e 1999)       | 0,80    | -         | -       | 100            | 200 | 600 | 700 | 150 |
| Barbosa et al. (2002)         | -       | -         | -       | 100            | -   | 600 | 700 | 150 |
| Tviksta (2000)                | 0,85    | -         | -       | 100            | 200 | 600 | -   | 150 |
| Palma (2001)                  | 0,80    | -         | -       | -              | -   | -   | -   | -   |
| Coppola (2000)                | 0,90    | -         | -       | 120            | 300 | 600 | 780 | 200 |

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS**

Todos os materiais utilizados para a fabricação do concreto foram caracterizados no Laboratório CESP de Engenharia Civil em Ilha Solteira – SP. Estudou-se o emprego de resíduos de concreto na produção de concreto auto-adensável destinados à aplicação de obras de engenharia. Portanto, para a realização destes estudos, foram utilizados os seguintes materiais de consumo:

- Cimento;
- Areia;
- Brita;
- Resíduo de concreto;
- Água;
- Aditivo superplastificante;

#### **4.1.1 Cimento Portland**

A caracterização física do cimento CPV–ARI está apresentado na tabela 12, onde são mostrados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Tabela 12 - Caracterização física do CPV - ARI.

| Ensaio                                         | Norma utilizada  | Resultados (média) |
|------------------------------------------------|------------------|--------------------|
| Tempo de início de pega (hora: min.)           | (NBR 11581:1991) | 03:03              |
| Tempo de fim de pega (hora: min.)              | (NBR 11581:1991) | 03:46              |
| Blaine (cm <sup>2</sup> /g)                    | (NBR NM 76)      | 4377               |
| Retido na # 200 (%)                            | (NBR 11579)      | 0,77               |
| Retido na # 325 (%)                            | (NBR 9202)       | 1,87               |
| Resistência à Compressão 03 dias (MPa)         | (NBR 7215:1991); | 34,11              |
| Resistência à Compressão 08 dias (MPa)         | (NBR 7215:1991); | 35,12              |
| Resistência à Compressão 28 dias (MPa)         | (NBR 7215:1991); | 41,09              |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )          | NBR NM 23        | 3,12               |
| Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> ) |                  | 1,02               |

#### 4.1.2 Agregados miúdos

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 13 (areia média fina) e tabela 15 (areia fina) para a granulometria dos agregados miúdos. Na tabela 14 e 16, são apresentados os resultados da caracterização dos agregados, enquanto nas fig. 20 e 21 são mostradas as respectivas curvas granulométricas em percentual de areia retida em função da abertura em cada peneira.

Tabela 13 - Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural (areia média fina).

| Abertura de Peneira# | Peso Retido (g) | % Retido | % Acumulado |
|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 4,75 mm              | 0,0             | 0,0      | 0,0         |
| 2,36 mm              | 1,8             | 0,4      | 0,4         |
| 1,18 mm              | 10,9            | 2,2      | 2,6         |
| 600 µm               | 60,8            | 12,2     | 14,8        |
| 300 µm               | 254,3           | 50,8     | 65,6        |
| 150 µm               | 161,2           | 32,2     | 97,7        |
| 75 µm                | 11,4            | 2,3      | 100,0       |
| TOTAL                | 500,4           | 100,0    | .....       |

Fonte: Próprio autor

Figura 20 - Gráfico de caracterização granulométrica da areia media fina.

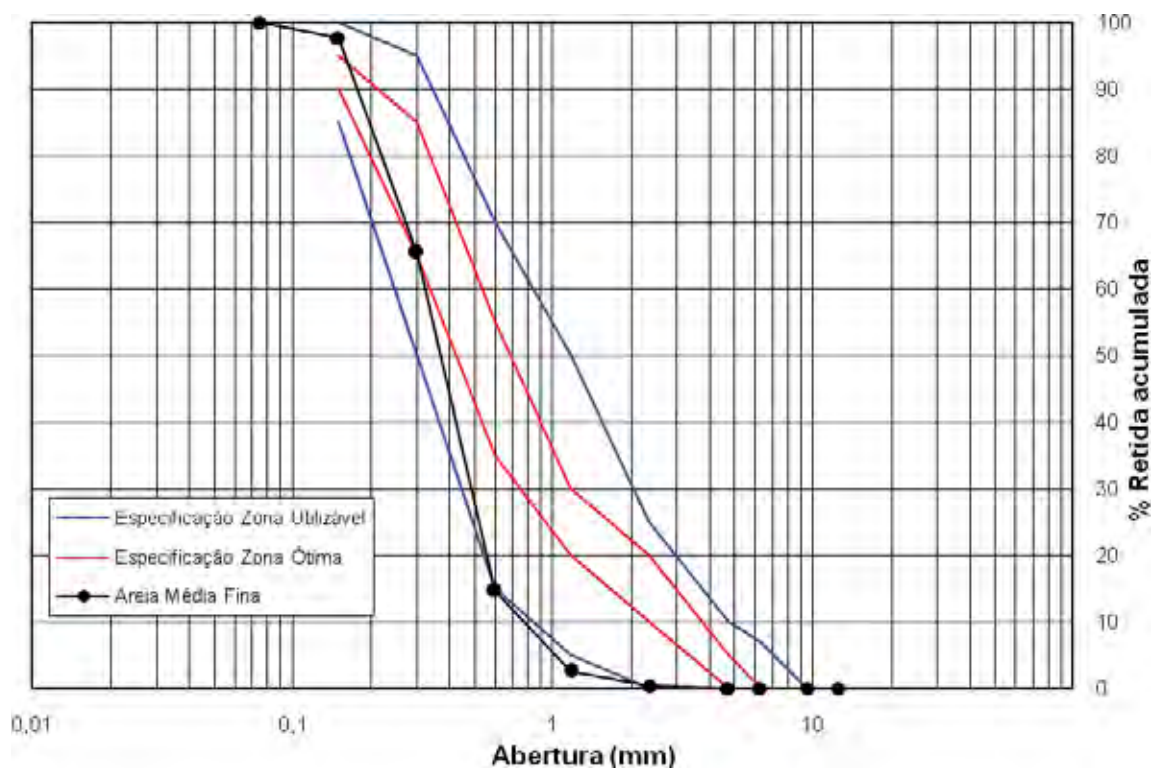


Tabela 14 - Caracterização do agregado miúdo natural (areia média fina).

|                      |                                    |            |
|----------------------|------------------------------------|------------|
| Diâmetro Máximo (mm) |                                    | 1,18       |
| Módulo de finura     |                                    | 1,81       |
| Massa específica     | s.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )        | 2,624      |
|                      | Seca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2,639      |
|                      | Aparente (g/cm <sup>3</sup> )      | 2,614      |
| Massa unitária       | Solta (g/cm <sup>3</sup> )         | 1,514      |
|                      | 4% de umidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,215      |
| Absorção (%)         |                                    | 0,36       |
| Pulverulento (%)     |                                    | 0,03       |
| Matéria orgânica     |                                    | Mais clara |

Fonte: Próprio autor

Tabela 15 - Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural (areia fina).

| Abertura de Peneira# | Peso Retido (g) | % Retido | % Acumulado |
|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 4,75 mm              | 0,0             | 0,0      | 0,0         |
| 2,36 mm              | 0,8             | 0,1      | 0,1         |
| 1,18 mm              | 1,5             | 0,3      | 0,4         |
| 600 $\mu$ m          | 6,8             | 1,2      | 1,6         |
| 300 $\mu$ m          | 185,6           | 33,5     | 35,1        |
| 150 $\mu$ m          | 335,4           | 60,5     | 95,6        |
| 75 $\mu$ m           | 24,3            | 4,4      | 100,0       |
| TOTAL                | 554,            | 100,0    | .....       |

Fonte: Próprio autor

Figura 21 - Gráfico de caracterização granulométrica da areia fina.

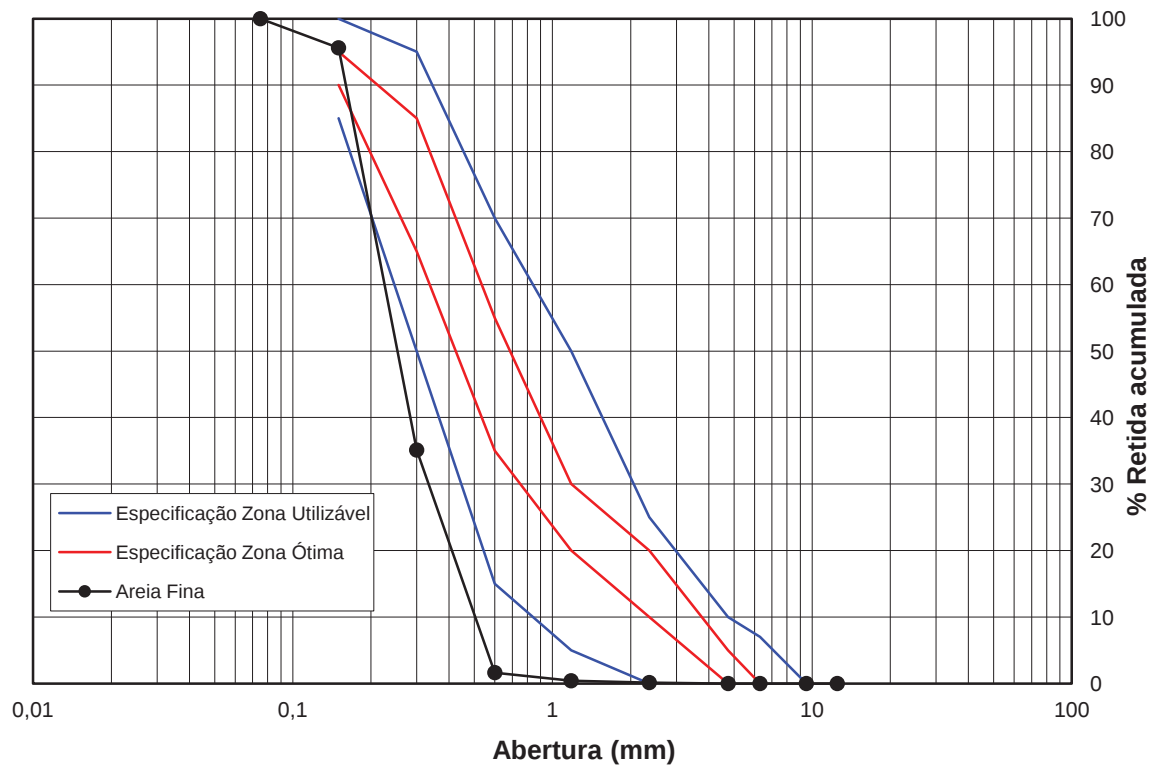


Tabela 16 - Caracterização do agregado miúdo natural (areia fina).

|                      |                                    |        |
|----------------------|------------------------------------|--------|
| Diâmetro Máximo (mm) |                                    | 600µm  |
| Módulo de finura     |                                    | 1,33   |
| Massa específica     | s.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )        | 2,618  |
|                      | Seca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2,628  |
|                      | Aparente (g/cm <sup>3</sup> )      | 2,612  |
| Massa unitária       | Solta (g/cm <sup>3</sup> )         | 1,490  |
|                      | 4% de umidade (g/cm <sup>3</sup> ) | .....  |
| Absorção (%)         |                                    | 0,24   |
| Pulverulento (%)     |                                    | 0,26   |
| Matéria orgânica     |                                    | +clara |

Fonte: Próprio autor

#### 4.1.3 Agregado graúdo

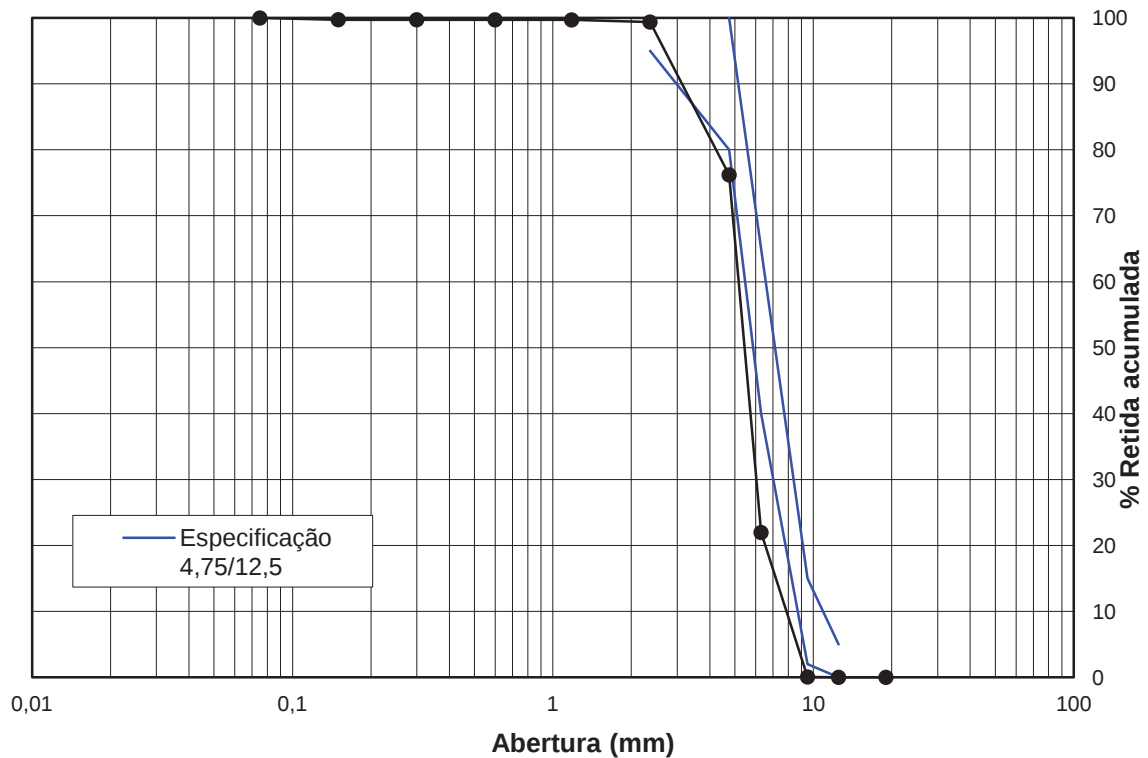
Na tabela 17 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica do agregado miúdo e, na tabela 18, os resultados da caracterização física. Na fig. 22 é mostrada a curva granulométrica correspondente.

Tabela 17 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural.

| Abertura de Peneira# | Peso Retido (g) | % Retido | % Acumulado |
|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 9,5 mm               | 0,7             | 0,1      | 0,1         |
| 6,3 mm               | 267,8           | 21,9     | 22,0        |
| 4,75 mm              | 663,0           | 54,2     | 76,2        |
| 2,36 mm              | 283,4           | 23,2     | 99,4        |
| 1,18 mm              | 3,9             | 0,3      | 99,7        |
| 600 µm               | 0,2             | 0,0      | 99,7        |
| 300 µm               | 0,1             | 0,0      | 99,7        |
| 150 µm               | 0,1             | 0,0      | 99,7        |
| 75 µm                | 3,2             | 0,3      | 100,0       |
| TOTAL                | 1222            | 100      | .....       |

Fonte: Próprio autor

Figura 22 - Gráfico de caracterização granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Próprio autor

Tabela 18 - Caracterização do agregado graúdo.

|                      |                       |       |
|----------------------|-----------------------|-------|
| Diâmetro Máximo (mm) |                       | 9,75  |
| Módulo de finura     |                       | 5,75  |
| Massa específica     | s.s.s. (g/cm³)        | 2,928 |
|                      | Seca (g/cm³)          | 2,900 |
|                      | Aparente (g/cm³)      | 2,985 |
| Massa unitária       | 4% de umidade (g/cm³) | 1,432 |
| Absorção (%)         |                       | 0,98  |
| Pulverulento (%)     |                       | 1,10  |

#### 4.1.4 Resíduos de concreto

Abaixo serão apresentados os resultados para a caracterização dos resíduos de concreto, assim com a sua granulometria e também a sua curva referente à sua granulometria, nas tabelas 19 e 21 são apresentados a granulometria fina e média dos resíduos de concreto respectivamente. A curva granulometria dos agregados

miúdos, são obtidas nas fig. 23 e 25, podemos ver a sua caracterização na tabelas 20 e 22, nas fig. 24 e 26, são mostrados os resíduos de concreto usado nos traços, sendo o primeiro com granulometria média e o segundo com granulometria fina.

Tabela 19 - Caracterização do resíduo de concreto granulometria média.

| Abertura de Peneira# | Peso Retido (g) | % Retido | % Acumulado |
|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 4,75 mm              | 0,1             | 0,1      | 0,1         |
| 2,36 mm              | 87,2            | 17,4     | 17,5        |
| 1,18 mm              | 90,4            | 18,1     | 35,5        |
| 600 µm               | 76,5            | 15,3     | 50,8        |
| 300 µm               | 105,0           | 21,0     | 71,8        |
| 150 µm               | 93,3            | 18,7     | 90,5        |
| 75 µm                | 47,5            | 9,5      | 100,0       |
| TOTAL                | 500,0           | 100,0    | .....       |

Fonte: Próprio autor

Figura 23 - Gráfico de caracterização do resíduo de concreto com granulometria média.

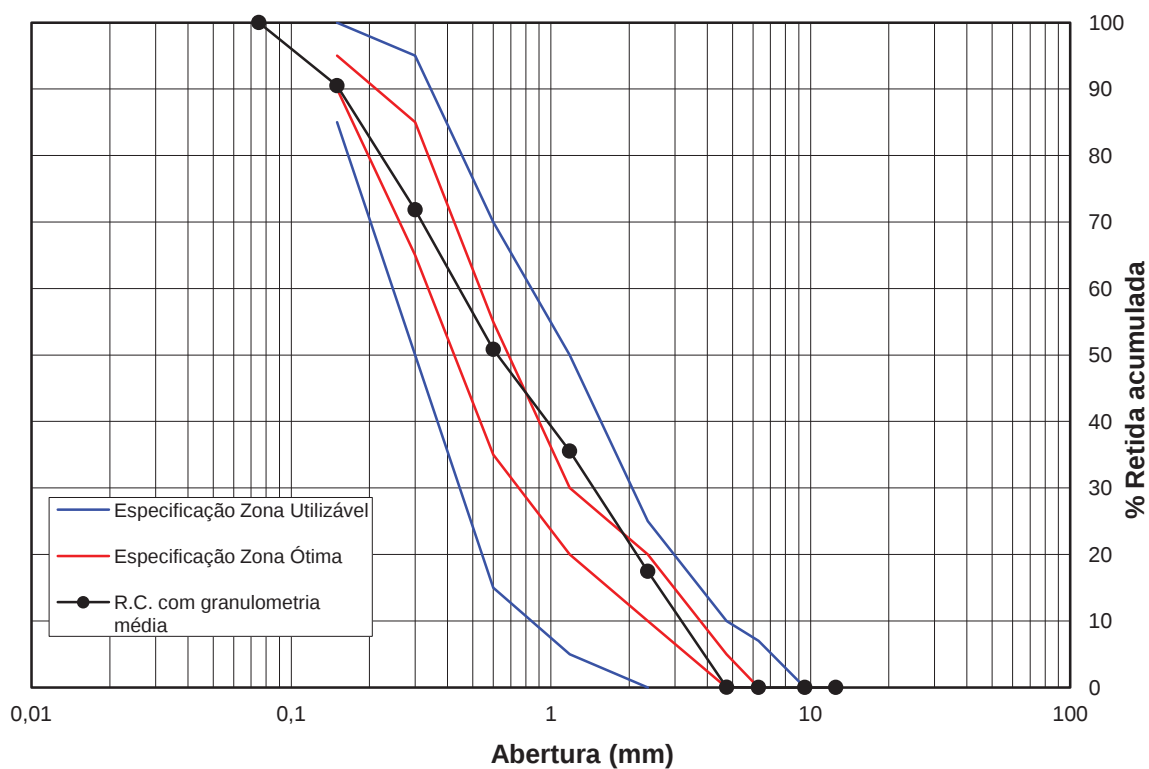


Tabela 20 - Caracterização do resíduo de concreto granulometria média.

|                      |                                    |       |
|----------------------|------------------------------------|-------|
| Diâmetro Máximo (mm) |                                    | 4,75  |
| Módulo de finura     |                                    | 2,66  |
| Massa específica     | s.s.s. (g/cm <sup>3</sup> )        | 5,524 |
|                      | Seca (g/cm <sup>3</sup> )          | 2,686 |
|                      | Aparente (g/cm <sup>3</sup> )      | 2,428 |
| Massa unitária       | Solta (g/cm <sup>3</sup> )         | 1,401 |
|                      | 4% de umidade (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,292 |
| Absorção (%)         |                                    | 3,95  |
| Pulverulento (%)     |                                    | 4,15  |

Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Resíduo de concreto com granulometria média.



Fonte: Próprio autor

Tabela 21 - Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina.

| Abertura de Peneira# | Peso Retido (g) | % Retido | % Acumulado |
|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 4,75 mm              | 0,0             | 0,0      | 0,0         |
| 2,36 mm              | 0,0             | 0,0      | 0,0         |
| 1,18 mm              | 0,0             | 0,0      | 0,0         |
| 600 $\mu$ m          | 1243            | 23,3     | 0,0         |
| 300 $\mu$ m          | 195,2           | 36,7     | 23,3        |
| 150 $\mu$ m          | 117,3           | 22,0     | 60,0        |
| 75 $\mu$ m           | 95,7            | 18,0     | 82,0        |
| TOTAL                | 532,5           | 100,0    | 100,0       |

Fonte: Próprio autor

Figura 25 - Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina.

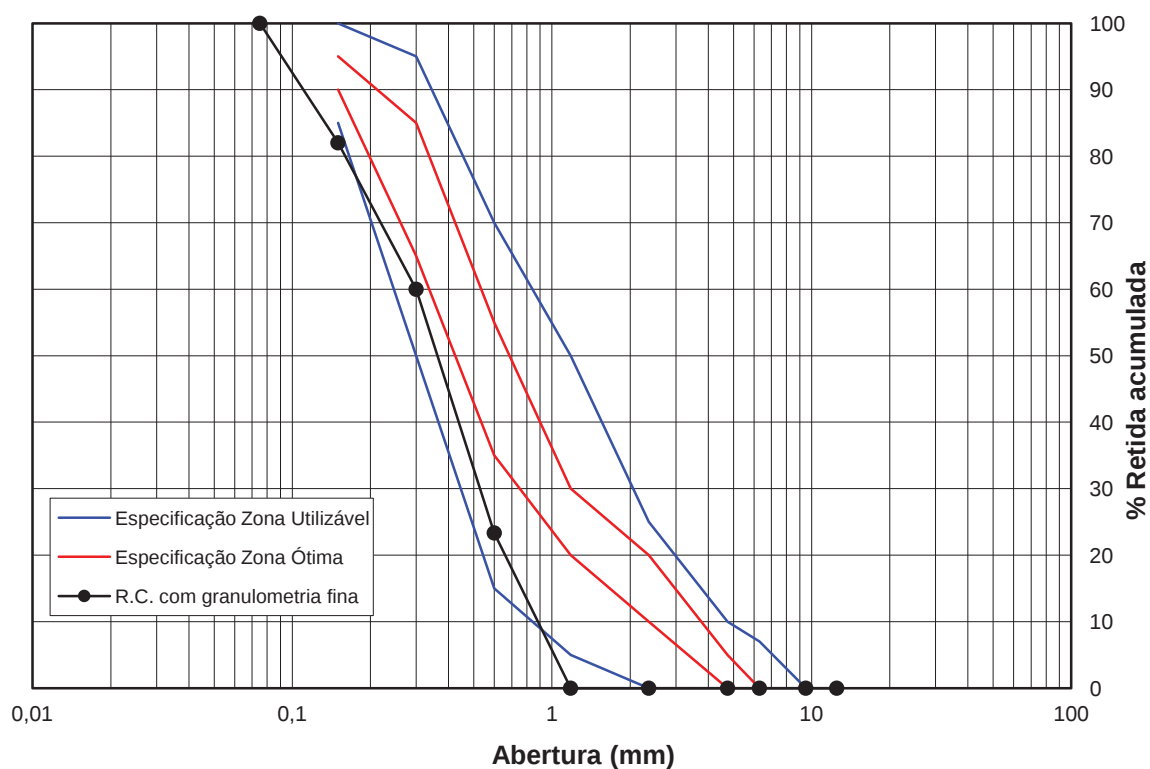


Tabela 22 - Caracterização do resíduo de concreto com granulometria fina.

|                      |                       |       |
|----------------------|-----------------------|-------|
| Diâmetro Máximo (mm) |                       | 600µm |
| Módulo de finura     |                       | 1,65  |
| Massa específica     | s.s.s. (g/cm³)        | 1,682 |
|                      | Seca (g/cm³)          | 2,611 |
|                      | Aparente (g/cm³)      | 2,377 |
| Massa unitária       | Solta (g/cm³)         | 1,310 |
|                      | 4% de umidade (g/cm³) | ..... |
| Absorção (%)         |                       | 3,76  |
| Pulverulento (%)     |                       | 4,55  |
| Matéria orgânica     |                       | ..... |

Fonte: Próprio autor

Figura 26 - Resíduo de concreto com granulometria fina.



Fonte: Próprio autor

O cimento portland de alta resistência inicial (CPV - ARI) foi escolhido por atingir alta resistência nos primeiros dias de aplicação, tendo em vista que o CAA, geralmente usado em obras de pré-moldados demandam do desenvolvimento da alta resistência inicial.

Os ensaios realizados no cimento utilizado condizem com a norma NBR-5377, principalmente ao que se refere a resistência a compressão. A norma exige resistência aos 3 e 7 dias de 24 e 34 MPa respectivamente, visto que na tabela 4.1 esses valores chegam a 34,11 e 35,12 MPa para as devidas datas. Assim como a resistência a compressão, os outros ensaios também obtiveram resultados dentro da referida norma, chegando a conclusão que o cimento utilizado no trabalho foi adequado.

Os ensaios de caracterização realizados, tanto para o agregado miúdo natural como para o agregado reciclado de concreto, mostraram que há um aumento considerado por parte da absorção de água dos materiais, isso pode ser observado nas tabelas 4.3 e 4.5 onde a absorção das areias são 0,36% e 0,24% respectivamente, e nas tabelas 4.9 e 4.11 onde as absorções dos resíduos de concreto foram de 3,95% e 3,76%. Outra característica observada nos ensaios foi a granulometria do agregado reciclado de concreto mais grosso, que ficou próxima da curva ótima para agregados miúdos.

Para o agregado graúdo foi escolhido o pedrisco, pois muitos autores recomendam o seu uso para o auto-adensável, devido reduzida possibilidade de segregação do concreto quando comparado com a brita 1, podendo assim se fabricar um concreto com menor coesão na argamassa para o auto-adensável, gerando uma maior economia.

## 4.2 DOSAGENS E RESULTADOS DOS CONCRETOS OBTIDOS

### 4.2.1 Cálculo dos traços

Nas tabelas 23 a 27, são apresentados os parâmetros de dosagens e as propriedades do concreto fresco para os traços estudados. São também apresentadas as proporções utilizadas e os resultados de *slump flow test*, caixa L e funil-V do concreto usado como referência e dos concretos com substituição do agregado natural pelo agregado reciclado.

Tabela 23 - Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço de referência.

| Traço 1:m                       |                                                            | 1:3    | 1:4    | 1:5    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Parâmetros da Dosagem           | Teor de Argamassa (%)                                      | 60 %   | 60 %   | 60 %   |
|                                 | Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )                    | 567,3  | 452,00 | 370,50 |
|                                 | Consumo de Areia Média Fina (kg/m <sup>3</sup> )           | 476,7  | 541,25 | 578,0  |
|                                 | Consumo de Areia Fina (kg/m <sup>3</sup> )                 | 317,61 | 361,25 | 385,0  |
|                                 | Consumo de Brita (kg/m <sup>3</sup> )                      | 905,67 | 900,00 | 883,4  |
|                                 | Consumo de Água (kg/m <sup>3</sup> )                       | 200,00 | 196,87 | 205,50 |
|                                 | Relação a/c (kg/kg)                                        | 0,35   | 0,43   | 0,55   |
|                                 | Consumo de Superplastificante (% sobre a massa de cimento) | 1%     | 1%     | 1%     |
| Propriedades do Concreto Fresco | <i>Slump Flow Test</i> (cm)                                | 65,5   | 64,0   | 61,0   |
|                                 | Caixa L                                                    | 0,92   | 0,89   | 0,82   |
|                                 | <i>Funil-V</i> (s)                                         | 10,0   | 10,0   | 8,5    |

Fonte: Próprio autor

Tabela 24 - Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 20% de resíduo de concreto com granulometria média.

| Traço 1:m                       |                                                             | 1:3    | 1:4    | 1:5    |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Parâmetros da Dosagem           | Teor de Argamassa (%)                                       | 60%    | 60%    | 60%    |
|                                 | Consumo de Cimento (kg/m³)                                  | 567,30 | 451,0  | 370,00 |
|                                 | Consumo de Areia Média Fina (kg/m³)                         | 476,7  | 541,2  | 577,1  |
|                                 | Consumo de Areia Fina (kg/m³)                               | 156,25 | 179,03 | 191,00 |
|                                 | Consumo de Res. de Concreto (kg/m³)                         | 160,00 | 183,0  | 193,6  |
|                                 | Consumo de Brita (kg/m³)                                    | 908,1  | 887,5  | 883,0  |
|                                 | Consumo de Água (kg/m³)                                     | 201,3  | 200,5  | 209,8  |
|                                 | Relação a/c (kg/kg)                                         | 0,35   | 0,44   | 0,57   |
|                                 | Consumo de Super plastificante (% sobre a massa de cimento) | 1%     | 1%     | 1%     |
| Propriedades do Concreto Fresco | <i>Slump Flow Test</i> (cm)                                 | 65,0   | 64,5   | 61,5   |
|                                 | Caixa L                                                     | 0,9    | 0,85   | 0,83   |
|                                 | <i>Funil-V</i> (s)                                          | 10,5   | 9,0    | 8,5    |

Fonte: Próprio autor

Tabela 25 - Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 40% de resíduo de concreto com granulometria média.

| Traço 1:m                       |                                                            | 1:3    | 1:4    | 1:5    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Parâmetros da Dosagem           | Teor de Argamassa (%)                                      | 60%    | 60%    | 60%    |
|                                 | Consumo de Cimento (kg/m³)                                 | 567,30 | 449,00 | 368,30 |
|                                 | Consumo de Areia Média Fina (kg/m³)                        | 476,7  | 537,88 | 574,4  |
|                                 | Consumo de Res. de Concreto (kg/m³)                        | 317,6  | 359,00 | 382,3  |
|                                 | Consumo de Brita (kg/m³)                                   | 905,6  | 894,41 | 878,05 |
|                                 | Consumo de Água (kg/m³)                                    | 203,14 | 205,00 | 212,8  |
|                                 | Relação a/c (kg/kg)                                        | 0,36   | 0,45   | 0,58   |
|                                 | Consumo de Superplastificante (% sobre a massa de cimento) | 1%     | 1%     | 1%     |
| Propriedades do Concreto Fresco | <i>Slump Flow Test</i> (cm)                                | 66,0   | 65,0   | 61,5   |
|                                 | Caixa L                                                    | 0,93   | 0,88   | 0,83   |
|                                 | <i>Funil-V</i> (s)                                         | 10,5   | 9,0    | 8,5    |

Fonte: Próprio autor

Tabela 26 - Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina.

| Traço 1:m                       |                                                             | 1:3    | 1:4    | 1:5    |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Parâmetros da Dosagem           | Teor de Argamassa (%)                                       | 60%    | 60%    | 60%    |
|                                 | Consumo de Cimento (kg/m³)                                  | 564,00 | 445,6  | 368,2  |
|                                 | Consumo de Areia Média Fina (kg/m³)                         | 473,75 | 534,5  | 574,4  |
|                                 | Consumo de Areia Fina (kg/m³)                               | 158,8  | 178,44 | 192,86 |
|                                 | Consumo de Res. de concreto. (kg/m³)                        | 157,1  | 177,8  | 190,1  |
|                                 | Consumo de Brita (kg/m³)                                    | 900,00 | 889,00 | 878,00 |
|                                 | Consumo de Água (kg/m³)                                     | 207,5  | 206,8  | 214,0  |
|                                 | Relação a/c (kg/kg)                                         | 0,37   | 0,46   | 0,58   |
|                                 | Consumo de Super plastificante (% sobre a massa de cimento) | 1%     | 1%     | 1%     |
| Propriedades do Concreto Fresco | <i>Slump Flow Test</i> (cm)                                 | 65,0   | 64,5   | 62,0   |
|                                 | Caixa L                                                     | 0,9    | 0,9    | 0,85   |
|                                 | <i>Funil-V</i> (s)                                          | 10,0   | 10,0   | 8,5    |

Fonte: Próprio autor

Tabela 27 - Proporções e propriedades do concreto fresco para o traço com substituição de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina.

| Traço 1:m                       |                                                             | 1:3    | 1:4    | 1:5    |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Parâmetros da Dosagem           | Teor de Argamassa (%)                                       | 60 %   | 60 %   | 60 %   |
|                                 | Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )                     | 556,80 | 443,00 | 364,00 |
|                                 | Consumo de Areia Média Fina (kg/m <sup>3</sup> )            | 467,8  | 531,3  | 567,50 |
|                                 | Consumo de Res. de Concreto (kg/m <sup>3</sup> )            | 311,8  | 354,6  | 378,6  |
|                                 | Consumo de Brita (kg/m <sup>3</sup> )                       | 888,9  | 883,5  | 867,47 |
|                                 | Consumo de Água (kg/m <sup>3</sup> )                        | 209,8  | 209,8  | 221,08 |
|                                 | Relação a/c (kg/kg)                                         | 0,38   | 0,47   | 0,61   |
|                                 | Consumo de Super plastificante (% sobre a massa de cimento) | 1 %    | 1 %    | 1 %    |
| Propriedades do Concreto Fresco | <i>Slump Flow Test</i> (cm)                                 | 66,0   | 65,0   | 61,0   |
|                                 | Caixa L                                                     | 0,9    | 0,9    | 8,5    |
|                                 | <i>Funil-V</i> (s)                                          | 10,0   | 10,0   | 9,5    |

Fonte: Próprio autor

Tabela 28 - Traços confeccionados no laboratório

|           |                         | Cim(kg) | RC (Kg) | Ar. fina (Kg) | Ar. grossa (Kg) | Brita (Kg) | Água (L) | Aditivo (g) |
|-----------|-------------------------|---------|---------|---------------|-----------------|------------|----------|-------------|
| Traço 1:5 | Referência              | 6,04    | 0,00    | 6,28          | 9,42            | 14,4       | 3,35     | 60,4        |
|           | RC com gran. média 20 % | 6,04    | 3,14    | 3,14          | 9,42            | 14,4       | 3,42     | 60,4        |
|           | RC com gran. média 40 % | 6,04    | 6,28    | 0,00          | 9,42            | 14,4       | 3,49     | 60,4        |
|           | RC com gran. fina 20 %  | 6,04    | 3,14    | 3,14          | 9,42            | 14,4       | 3,51     | 60,4        |
|           | RC com gran. fina 40 %  | 6,04    | 6,28    | 0,00          | 9,42            | 14,4       | 3,67     | 60,4        |
| Traço 1:4 | Referência              | 7,22    | 0,00    | 5,78          | 8,66            | 14,4       | 3,15     | 72,22       |
|           | RC com gran. média 20 % | 7,22    | 2,89    | 2,89          | 8,66            | 14,4       | 3,2      | 72,22       |
|           | RC com gran. média 40 % | 7,22    | 5,78    | 0,00          | 8,66            | 14,4       | 3,25     | 72,22       |
|           | RC com gran. fina 20 %  | 7,22    | 2,89    | 2,89          | 8,66            | 14,4       | 3,3      | 72,22       |
|           | RC com gran. fina 40 %  | 7,22    | 5,78    | 0,00          | 8,66            | 14,4       | 3,42     | 72,22       |
| Traço 1:3 | Referência              | 9,02    | 0,00    | 5,05          | 7,58            | 14,4       | 3,18     | 90,2        |
|           | RC com gran. média 20 % | 9,02    | 2,52    | 2,52          | 7,58            | 14,4       | 3,2      | 90,2        |
|           | RC com gran. média 40 % | 9,02    | 5,05    | 0,00          | 7,58            | 14,4       | 3,23     | 90,2        |
|           | RC com gran. fina 20 %  | 9,02    | 2,52    | 2,52          | 7,58            | 14,4       | 3,32     | 90,2        |
|           | RC com gran. Fina 40 %  | 9,02    | 5,05    | 0,00          | 7,58            | 14,4       | 3,4      | 90,2        |

Fonte: Próprio autor

Os teores de argamassa do concreto e do aditivo foram dosados experimentalmente visando à obtenção da fluidez necessária, de modo a evitar a ocorrência da segregação. Variou-se somente a quantidade de água para cada traço de concreto, visando assim à obtenção da melhor proporção a/c, determinada por meio dos ensaios rotineiros do CAA, buscando-se melhor resultado em termos de fluidez.

Como o método de dosagem usado foi o proposto por Tutikian (2004), devido ao resíduo ser uma adição não pozolânica, este foi substituído em relação à areia fina. Portanto, no traço base para a dosagem de concreto, as quantidades de cimento, areia média fina, brita e aditivo permaneceram constantes. Somente as quantidades de areia fina e de resíduo de concreto foram alteradas, com substituição de parte da areia fina pelo resíduo. Na tabela 28 são apresentadas as proporções relativas dos materiais utilizados na confecção dos traços de concretos com as substituições, além da quantidade de água necessária para cada dosagem.

Para a dosagem do CAA, foi mantido o teor de argamassa já determinado e a proporção em massa entre aglomerantes e agregados, para que os concretos sejam considerados da mesma família, possibilitando uma análise comparativa de suas propriedades e comportamento.

A tabela 28, referente aos traços confeccionados em laboratório, traduz melhor os resultados, pois pode ser observado que o aumento da quantidade de água é diretamente proporcional ao aumento da quantidade de finos dos agregados reciclados de concreto. Na mesma tabela, também se observa que a granulometria do resíduo exerce influencia na relação a/c, sendo que, quanto menor a granulometria do resíduo, maior será a relação a/c encontrada.

#### **4.2.2 Resultados da resistência dos corpos-de-prova**

Foram confeccionados cinco traços de concreto, sendo um de referência e quatro com teores de substituição de resíduo de concreto, com substituição de 20% e 40% em massa do agregado miúdo. Esse resíduo de concreto tendo uma granulometria média e outra fina, para a confecção dos devidos traços de concreto.

Na tabela 29 a 33, pode-se verificar os valores de carga de ruptura em toneladas, assim como a resistência a compressão axial (MPa), de cada corpo de prova para suas devidas idades e tipos de concreto, foi possível observar o ganho de resistência e comparar os resultados, permitindo uma análise de cada traço produzido com resíduo de concreto, e analisado, sua viabilidade tanto na parte técnica, quanto na relação custo/benefício por metro cúbico de concreto.

Nas fig. 27 a 31, pode-se observar os gráficos de ganho de resistência de cada traço pela idade de ruptura. O concreto que apresentou melhor resultado em relação à resistência foi o de referência, entretanto, o traço com teor de substituição de 40% de granulometria fina ficou próximo do resultado de referência com apenas 0,57% de diferença (de 78,45 MPa para 78,00 MPa).

Tabela 29 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de referência.

|                           | Idade de Ruptura | Corpo-de-Prova | Carga de Ruptura (ton.) | Resist. à Compressão Axial (MPa) | Valor Médio (MPa) |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Traço de Referência (1:3) | 7 dias           | 1              | 50,17                   | 63,9                             | 64,1              |
|                           |                  | 2              | 50,41                   | 64,2                             |                   |
|                           | 14 dias          | 1              | 56,14                   | 71,5                             | 71,5              |
|                           |                  | 2              | 56,06                   | 71,4                             |                   |
|                           | 28 dias          | 1              | 61,87                   | 78,8                             | 76,45             |
|                           |                  | 2              | 58,18                   | 74,1                             |                   |
|                           | 56 dias          | 1              | 60,85                   | 77,5                             | 78,45             |
|                           |                  | 2              | 62,34                   | 79,4                             |                   |
|                           |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de Referência (1:4) | 7 dias           | 1              | 36,59                   | 46,6                             | 46,5              |
|                           |                  | 2              | 36,35                   | 46,3                             |                   |
|                           | 14 dias          | 1              | 40,59                   | 51,7                             | 52                |
|                           |                  | 2              | 40,98                   | 52,2                             |                   |
|                           | 28 dias          | 1              | 46,95                   | 59,8                             | 56,4              |
|                           |                  | 2              | 41,61                   | 53                               |                   |
|                           | 56 dias          | 1              | 46,56                   | 59,3                             | 60,5              |
|                           |                  | 2              | 48,44                   | 61,7                             |                   |
|                           |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de Referência (1:5) | 7 dias           | 1              | 18,06                   | 23                               | 22,9              |
|                           |                  | 2              | 17,9                    | 22,8                             |                   |
|                           | 14 dias          | 1              | 19,16                   | 24,4                             | 25,2              |
|                           |                  | 2              | 20,49                   | 26,1                             |                   |
|                           | 28 dias          | 1              | 20,41                   | 26                               | 27,2              |
|                           |                  | 2              | 22,3                    | 28,4                             |                   |
|                           | 56 dias          | 1              | 22,85                   | 29,1                             | 28,5              |
|                           |                  | 2              | 21,91                   | 27,9                             |                   |

Fonte: Próprio autor

Tabela 30 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 20% de RC com granulometria média.

| Traço de 20% de RC com granulometria média. (1:3) | Idade de Ruptura | Corpo-de-Prova | Carga de Ruptura (ton.) | Resist. à Compressão Axial (MPa) | Valor Médio (MPa) |
|---------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
|                                                   | 7 dias           | 1              | 51,19                   | 65,2                             | 66,2              |
|                                                   |                  | 2              | 52,68                   | 67,1                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 58,1                    | 74                               | 71,7              |
|                                                   |                  | 2              | 54,49                   | 69,4                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 58,1                    | 74                               | 75                |
|                                                   |                  | 2              | 59,67                   | 76                               |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 60,61                   | 77,2                             | 76,4              |
|                                                   |                  | 2              | 59,36                   | 75,6                             |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 20% de RC com granulometria média. (1:4) | 7 dias           | 1              | 30,38                   | 38,7                             | 37,6              |
|                                                   |                  | 2              | 28,58                   | 36,4                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 42,71                   | 54,4                             | 51,4              |
|                                                   |                  | 2              | 37,92                   | 48,3                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 41,69                   | 53,1                             | 53,7              |
|                                                   |                  | 2              | 42,55                   | 54,2                             |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 44,52                   | 56,7                             | 58,95             |
|                                                   |                  | 2              | 48,05                   | 61,2                             |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 20% de RC com granulometria média. (1:5) | 7 dias           | 1              | 17,19                   | 21,9                             | 21,7              |
|                                                   |                  | 2              | 16,88                   | 21,5                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 17,9                    | 22,8                             | 24,1              |
|                                                   |                  | 2              | 19,86                   | 25,3                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 18,76                   | 23,9                             | 24,55             |
|                                                   |                  | 2              | 19,79                   | 25,2                             |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 19,86                   | 25,3                             | 25,5              |
|                                                   |                  | 2              | 20,18                   | 25,7                             |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |

Fonte: Próprio autor

Tabela 31 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 40% de RC com granulometria média.

| Traço de 40% de RC com granulometria média. (1:3) | Idade de Ruptura | Corpo-de-Prova | Carga de Ruptura (ton.) | Resist. à Compressão Axial (MPa) | Valor Médio (MPa) |
|---------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
|                                                   | 7 dias           | 1              | 49,07                   | 62,5                             | 62,4              |
|                                                   |                  | 2              | 48,99                   | 62,4                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 56,22                   | 71,6                             | 71,7              |
|                                                   |                  | 2              | 56,37                   | 71,8                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 60,46                   | 77                               | 75,8              |
|                                                   |                  | 2              | 58,57                   | 74,6                             |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 59,67                   | 76,1                             | 77,2              |
|                                                   |                  | 2              | 61,55                   | 78,4                             |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 40% de RC com granulometria média. (1:4) | 7 dias           | 1              | 34,7                    | 44,2                             | 47,7              |
|                                                   |                  | 2              | 40,2                    | 51,2                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 38,55                   | 49,1                             | 51,8              |
|                                                   |                  | 2              | 42,71                   | 54,4                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 43,5                    | 55,4                             | 54,8              |
|                                                   |                  | 2              | 42,55                   | 54,2                             |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 48,29                   | 61,5                             | 62,45             |
|                                                   |                  | 2              | 49,78                   | 63,4                             |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                   |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 40% de RC com granulometria média. (1:5) | 7 dias           | 1              | 14,29                   | 18,2                             | 17,5              |
|                                                   |                  | 2              | 13,11                   | 16,7                             |                   |
|                                                   | 14 dias          | 1              | 15,07                   | 19,2                             | 19,3              |
|                                                   |                  | 2              | 15,23                   | 19,4                             |                   |
|                                                   | 28 dias          | 1              | 17,51                   | 22,3                             | 22,15             |
|                                                   |                  | 2              | 17,27                   | 22                               |                   |
|                                                   | 56 dias          | 1              | 18,06                   | 23                               | 23,5              |
|                                                   |                  | 2              | 18,84                   | 24                               |                   |

Fonte: Próprio autor

Tabela 32 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 20% de RC com granulometria fina.

| Traço de 20% de RC com granulometria fina. (1:3) | Idade de Ruptura | Corpo-de-Prova | Carga de Ruptura (ton.) | Resist. à Compressão Axial (MPa) | Valor Médio (MPa) |
|--------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
|                                                  | 7 dias           | 1              | 50,09                   | 63,8                             | 65,2              |
|                                                  |                  | 2              | 52,21                   | 66,5                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 55,12                   | 70,2                             | 70,6              |
|                                                  |                  | 2              | 55,74                   | 71                               |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 57,47                   | 73,2                             | 72,2              |
|                                                  |                  | 2              | 55,9                    | 71,2                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 58,81                   | 74,9                             | 74,5              |
|                                                  |                  | 2              | 58,18                   | 74,1                             |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 20% de RC com granulometria fina. (1:4) | 7 dias           | 1              | 33,68                   | 42,9                             | 41,6              |
|                                                  |                  | 2              | 31,56                   | 40,2                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 38,16                   | 48,6                             | 47,8              |
|                                                  |                  | 2              | 36,9                    | 47                               |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 40,91                   | 52,1                             | 51,9              |
|                                                  |                  | 2              | 40,67                   | 51,8                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 45,07                   | 57,4                             | 58,15             |
|                                                  |                  | 2              | 46,24                   | 58,9                             |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 20% de RC com granulometria fina. (1:5) | 7 dias           | 1              | 15,23                   | 19,4                             | 22,45             |
|                                                  |                  | 2              | 20,02                   | 25,5                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 20,81                   | 26,5                             | 27                |
|                                                  |                  | 2              | 21,67                   | 27,6                             |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 21,67                   | 27,6                             | 27,35             |
|                                                  |                  | 2              | 21,28                   | 27,1                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 23,55                   | 30                               | 28,8              |
|                                                  |                  | 2              | 21,67                   | 27,6                             |                   |

Fonte: Próprio autor

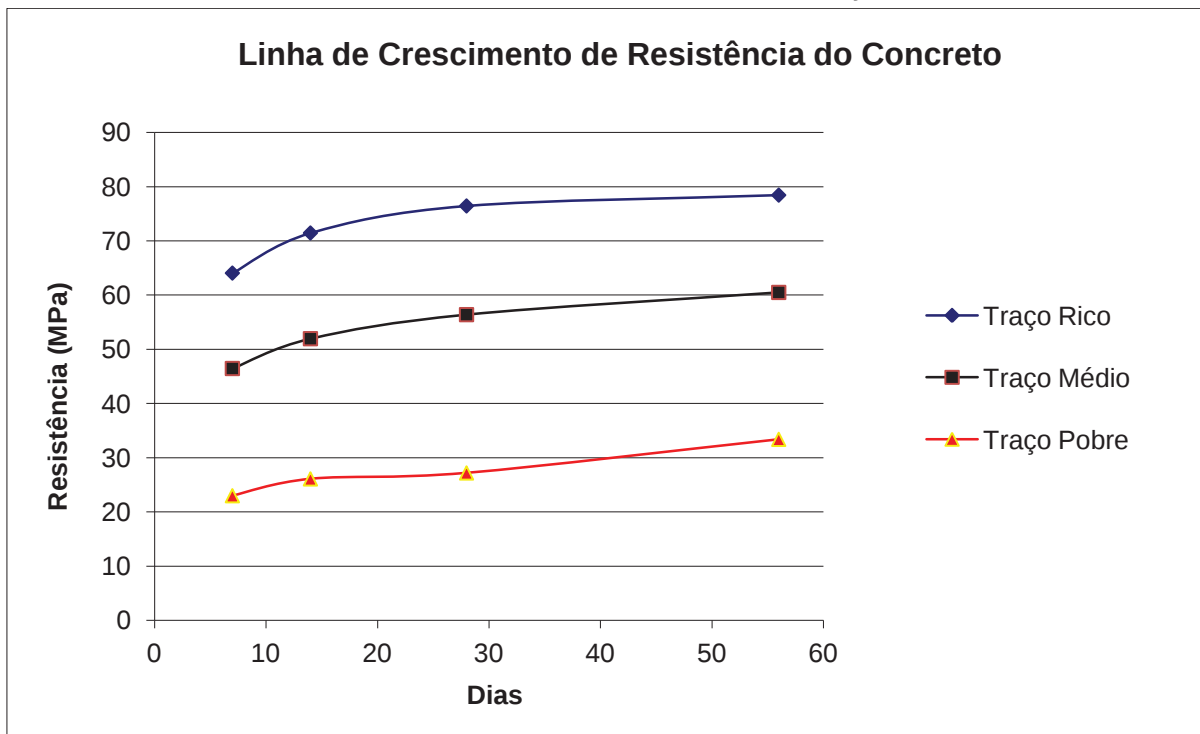
Tabela 33 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o traço de 40% de RC com granulometria fina.

| Traço de 40% de RC com granulometria fina. (1:3) | Idade de Ruptura | Corpo-de-Prova | Carga de Ruptura (ton.) | Resist. à Compressão Axial (MPa) | Valor Médio (MPa) |
|--------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
|                                                  | 7 dias           | 1              | 53,39                   | 68                               | 67,6              |
|                                                  |                  | 2              | 52,76                   | 67,2                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 55,27                   | 70,4                             | 71,6              |
|                                                  |                  | 2              | 57,08                   | 72,7                             |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 58,49                   | 74,5                             | 74,6              |
|                                                  |                  | 2              | 58,65                   | 74,7                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 60,69                   | 77,3                             | 78                |
|                                                  |                  | 2              | 61,79                   | 78,7                             |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 40% de RC com granulometria fina. (1:4) | 7 dias           | 1              | 33,37                   | 42,5                             | 43,7              |
|                                                  |                  | 2              | 35,17                   | 44,8                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 38,86                   | 49,5                             | 48,55             |
|                                                  |                  | 2              | 37,37                   | 47,6                             |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 40,2                    | 51,2                             | 52,7              |
|                                                  |                  | 2              | 42,48                   | 54,1                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 47,97                   | 61,1                             | 61,35             |
|                                                  |                  | 2              | 48,36                   | 61,6                             |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
| Traço de 40% de RC com granulometria fina. (1:5) | 7 dias           | 1              | 14,76                   | 18,8                             | 19,7              |
|                                                  |                  | 2              | 16,17                   | 20,6                             |                   |
|                                                  | 14 dias          | 1              | 15,23                   | 19,4                             | 21,5              |
|                                                  |                  | 2              | 18,53                   | 23,6                             |                   |
|                                                  | 28 dias          | 1              | 19                      | 24,2                             | 25,15             |
|                                                  |                  | 2              | 20,49                   | 26,1                             |                   |
|                                                  | 56 dias          | 1              | 21,67                   | 27,6                             | 27,05             |
|                                                  |                  | 2              | 20,81                   | 26,5                             |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |
|                                                  |                  |                |                         |                                  |                   |

Fonte: Próprio autor

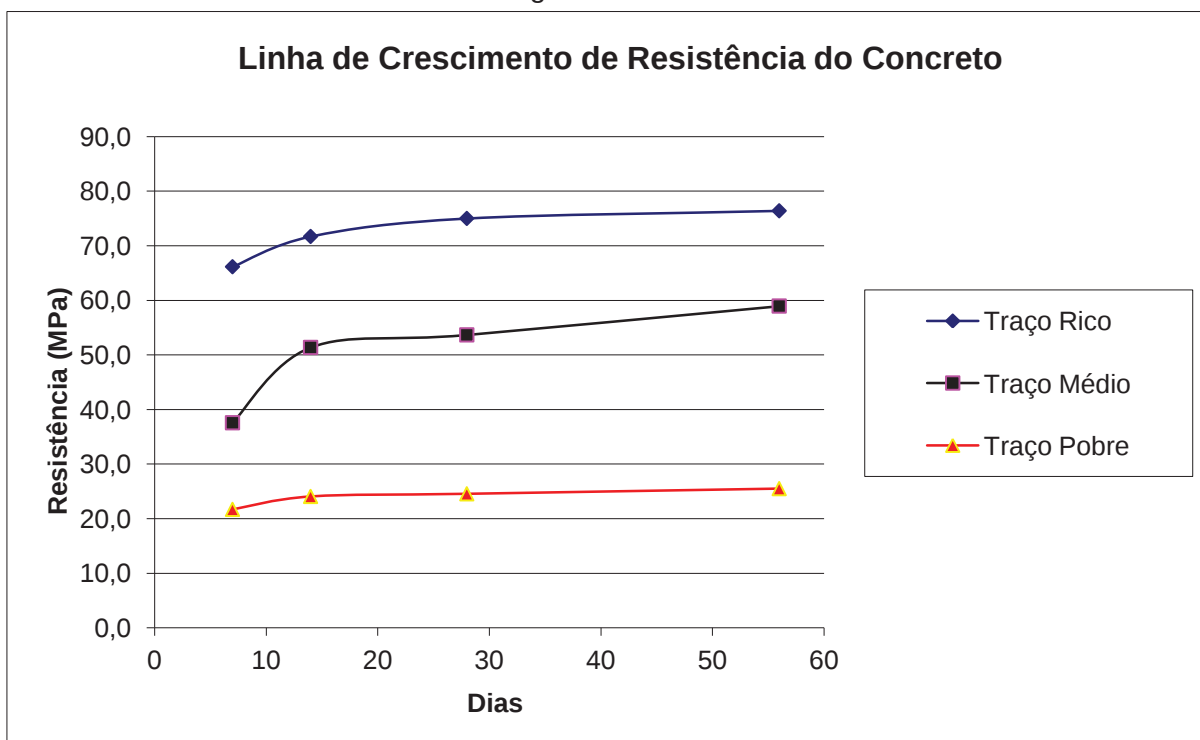
Nas fig. 27 a 31 são apresentados a variação da resistência em função do tempo de cura para todos os traços de concreto confeccionados.

Figura 27 - Resistência do Concreto x Dias para o traço de referência.



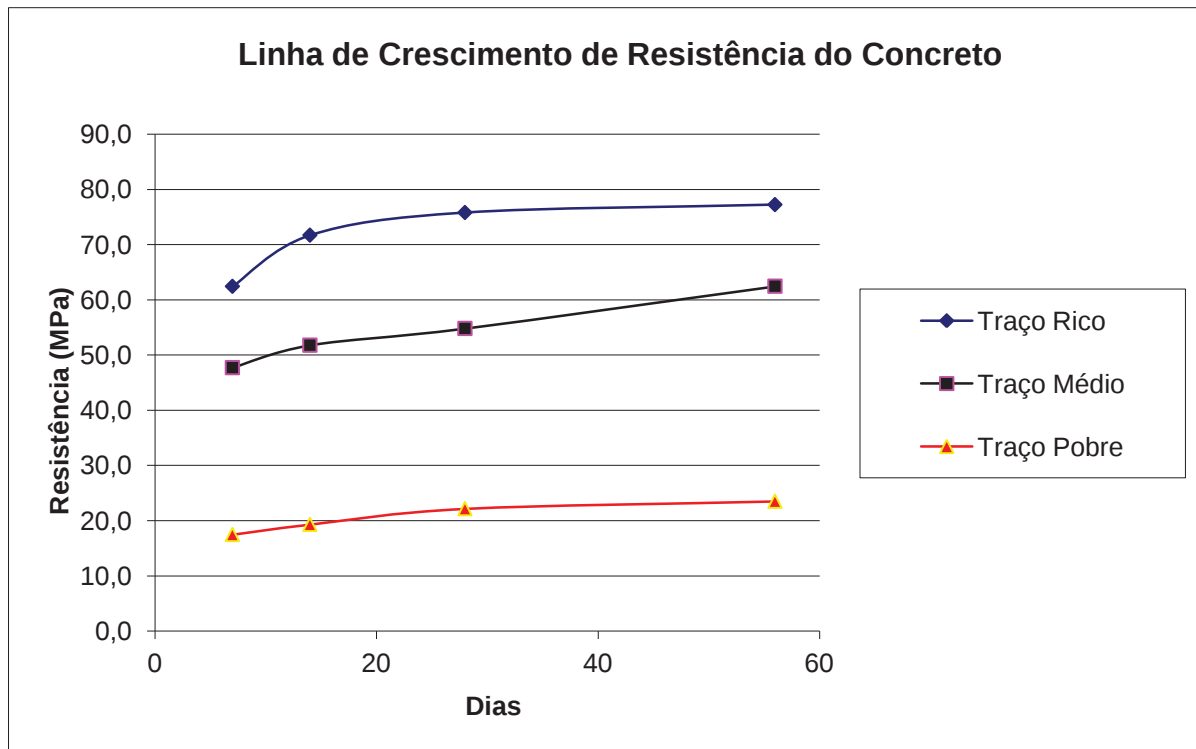
Fonte: Próprio autor

Figura 28 - Resistência do Concreto x Dias para o traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria média.



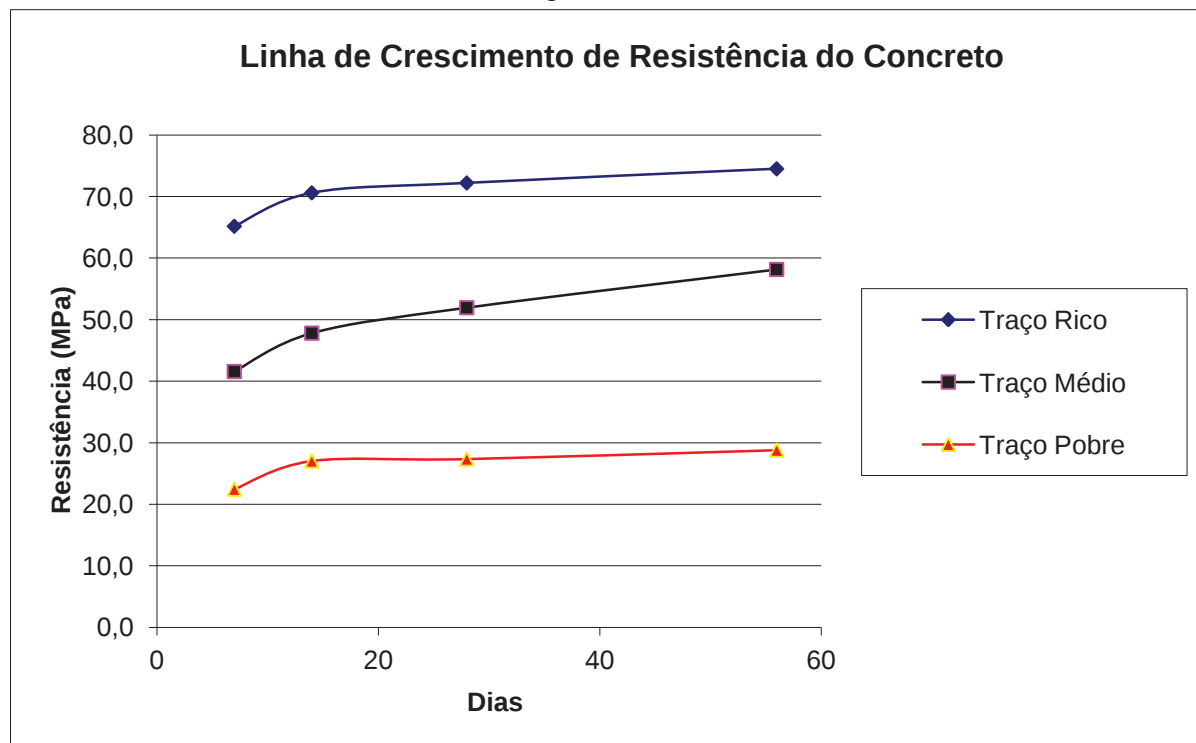
Fonte: Próprio autor

Figura 29 - Resistência do Concreto x Dias para o traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria média.



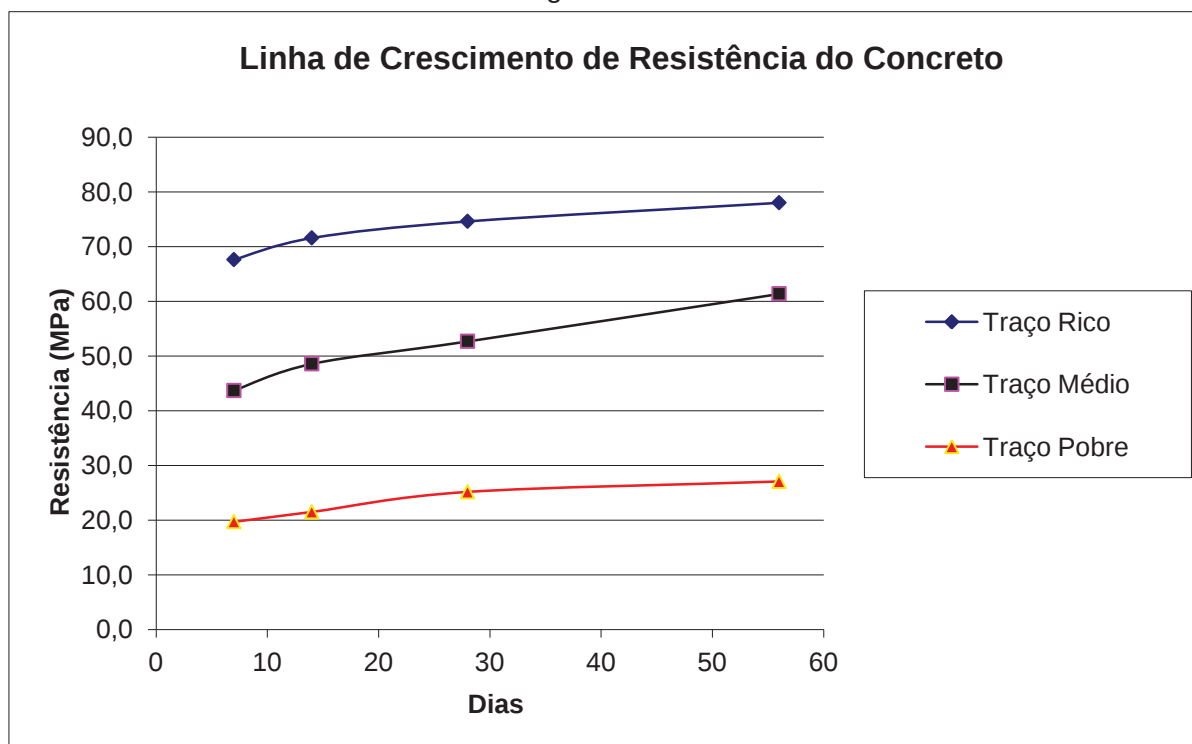
Fonte: Próprio autor

Figura 30 - Resistência do Concreto x Dias, para o traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina.



Fonte: Próprio autor

Figura 31 - Resistência do Concreto x Dias para o traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina.



Com os resultados da resistência do concreto para cada idade, foram plotadas as curvas de dosagens, e também de forma comparativa os dois métodos apresentados para a previsão de resistência do concreto a partir dos resultados a baixa e média idade usando o método da AMEBA e a fórmula da NBR 6118.

Foram confeccionados no total 160 corpos de prova, com cinco tipos de concretos diferentes, cada um dividido em traço rico, intermediário e pobre, segundo o método de Tutikian (2004). Foram fabricados dois corpos de prova para cada idade, obtendo-se assim a média de sua resistência. As idades escolhidas foram de 7, 14, 28 e 56, obtendo-se 32 corpos-de-prova para cada traço.

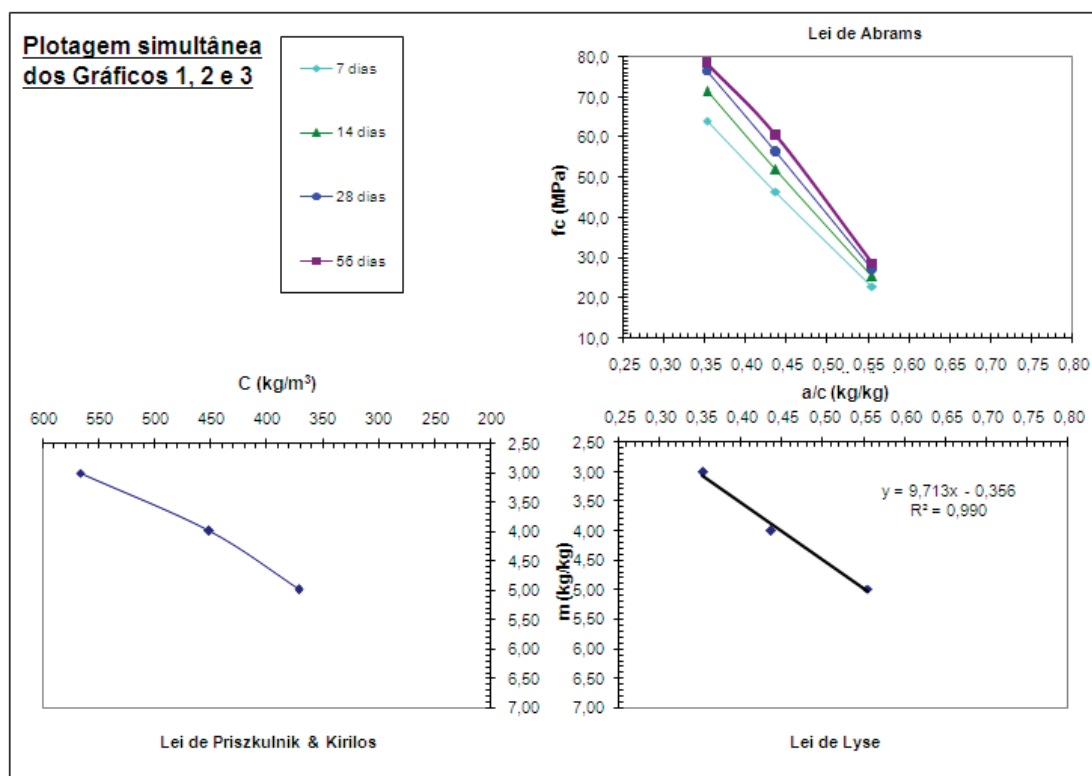
Apesar do cimento utilizado para a fabricação do concreto ser o CPV-ARI, este cimento difere-se dos demais do mercado por apresentar um ganho de resistência inicial alta, porém, pelos gráficos pode-se notar um ganho de resistência para os corpos-de-prova de 56 dias com relação aos de 28 dias, o que não é muito comum para este tipo de cimento, pelas fig. 27 a 31 pode-se notar que o maior aumento ocorreu para o traço médio de granulometria fina e com 40% de substituição, esse aumento foi de 14,1% (de 52,7 MPa para 61,3 MPa) e o menor

ganho foi observado para o traço pobre do traço de referência com apenas 4,56% (de 27,2 MPa para 28,5 MPa).

#### 4.2.3 Curvas de dosagem

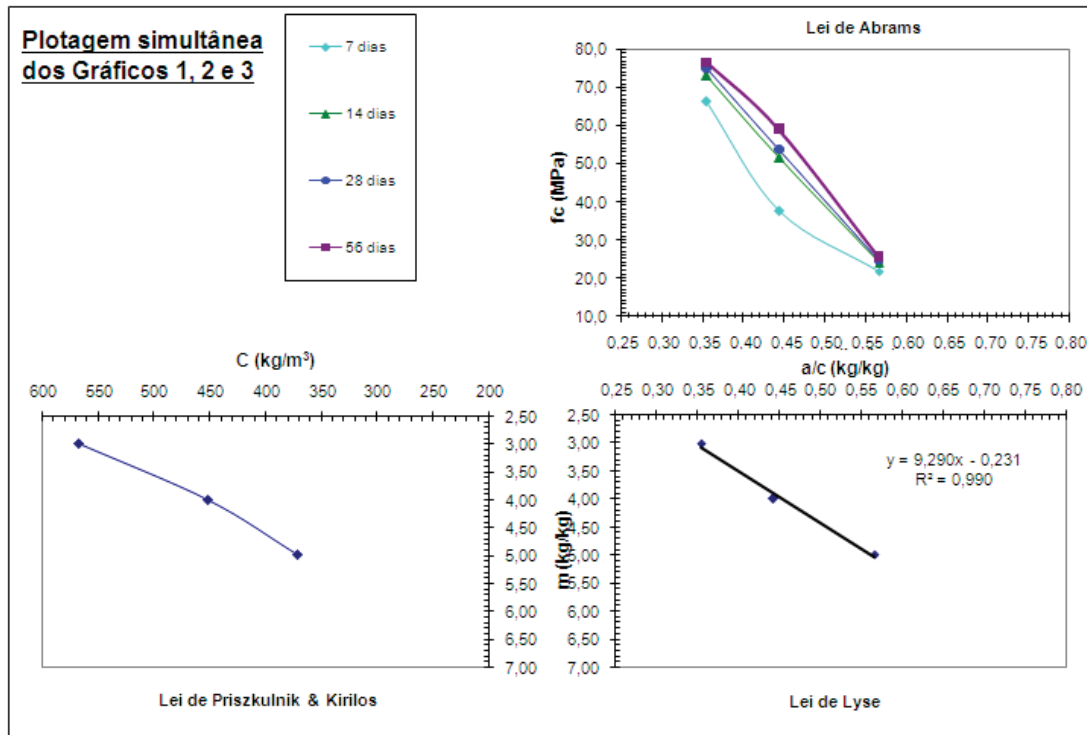
As curvas de dosagem relacionam a resistência à compressão, relação água/aglomerante, traço 'm' e consumo de aglomerantes. Nas fig. 32 a 36 são apresentados os diagramas de dosagens dos traços confeccionados relacionando as resistências à compressão aos 7, 14, 28 e 56 dias. A observação deste diagrama deve ser no sentido horário, a partir da resistência à compressão ou no sentido oposto, sendo iniciado no consumo de cimento até as resistências à compressão. O eixo y, representa, a resistência à compressão em MPa e o teor de argamassa, enquanto que o eixo x representa o consumo de cimento e também o fator a/c utilizado no concreto.

Figura 32 - Diagrama de dosagem do traço de referência.



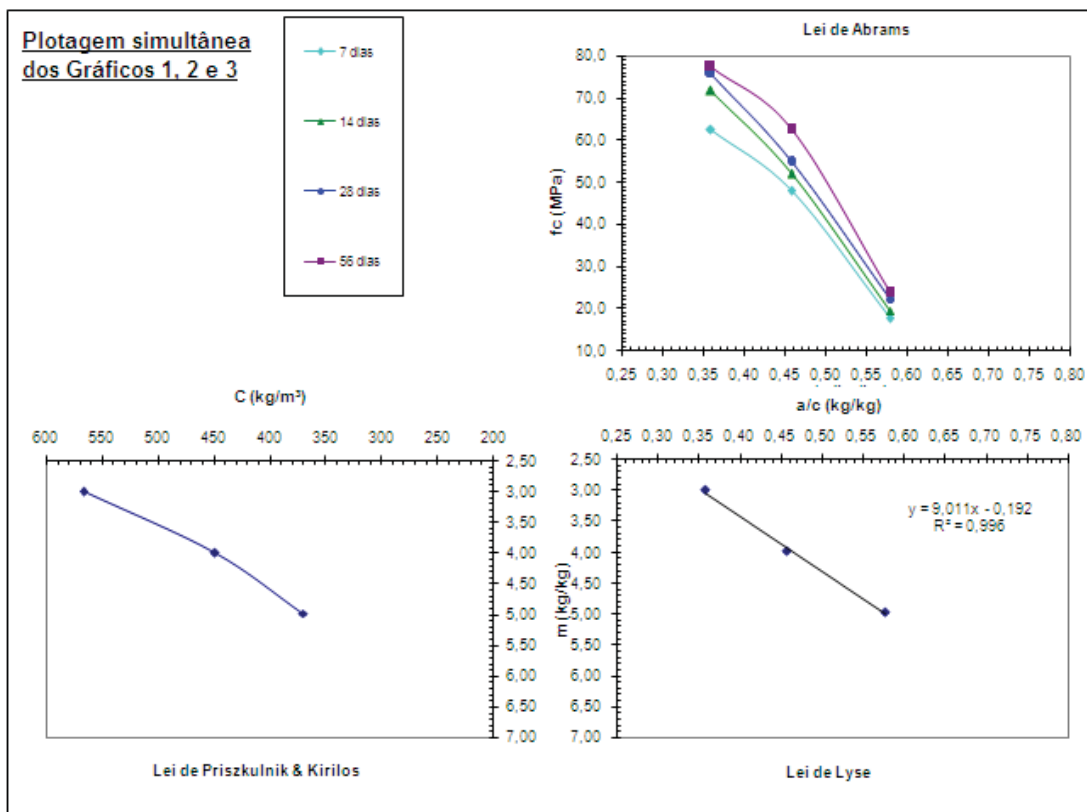
Fonte: Próprio autor

Figura 33 - Diagrama de dosagem do traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria média.



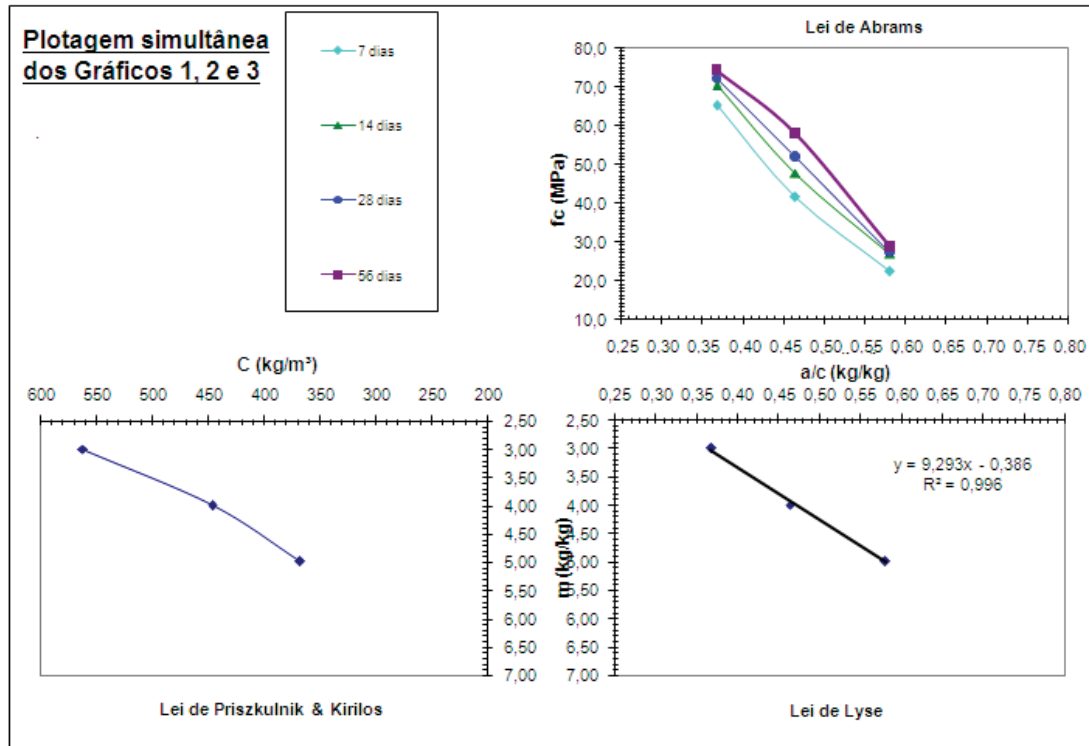
Fonte: Próprio autor

Figura 34 - Diagrama de dosagem do traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria média



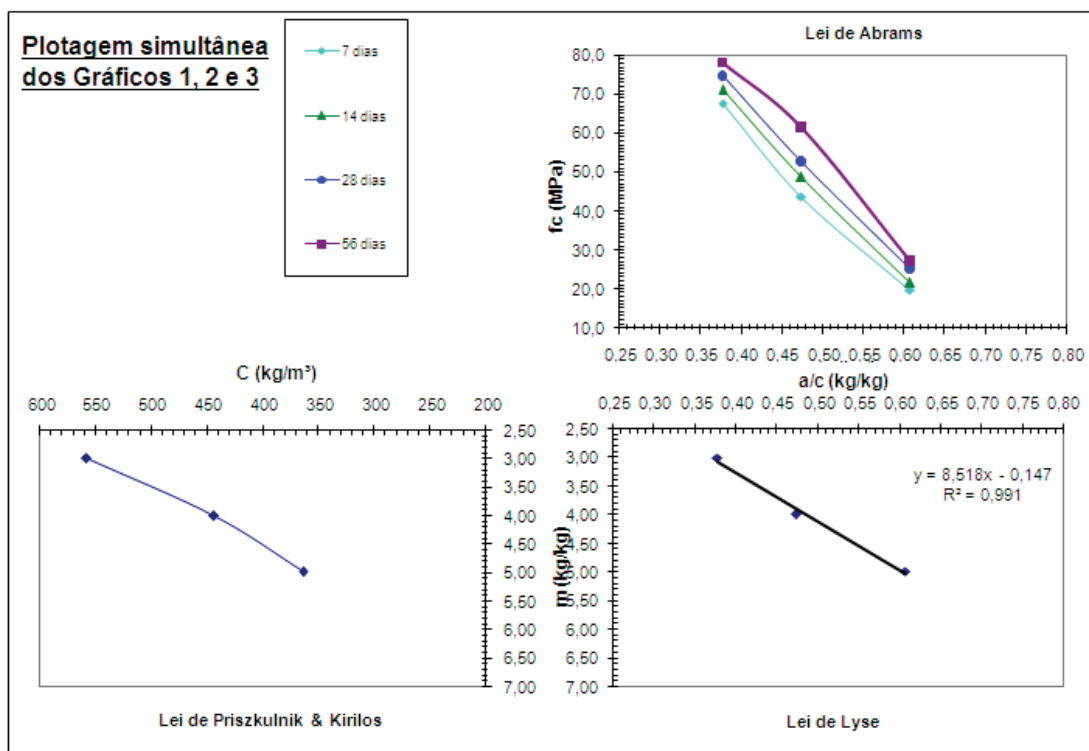
Fonte: Próprio autor

Figura 35 - Diagrama de dosagem do traço de 20% de resíduo de concreto com granulometria fina.



Fonte: Próprio autor

Figura 36 - Diagrama de dosagem do traço de 40% de resíduo de concreto com granulometria fina.



Fonte: Próprio autor

Nos diagramas de desempenho, mostrados nas fig. 32 a 36, é feita uma comparação das resistências à compressão aos 7,14, 28, 56 dias do concreto. Ressalta-se que, para todos os diagramas, os teores de argamassas são os mesmos, caracterizando assim concretos da mesma família. De modo que possam ser analisados comparativamente, com a ressalva de que a resistência a compressão, o fator a/c e o consumo de cimento variam em função da trabalhabilidade requerida para cada traço.

#### 4.2.4 Projeções de resistência pelo método AMEBA e pela fórmula da NBR 6118

Nas tabelas 34 a 43, são apresentadas as projeções de resistência de concreto e suas devidas resistências feitas pelo método de AMEBA e os da fórmula da NBR 6118. Foram realizadas projeções das primeiras idades para as idades de 56 e 28 dias, de todos os traços utilizados.

Tabela 34 - Comparações entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto de referencia pelo método da AMEBA

| Traço | a/c  | Rompimentos |         |         |         | Projeções           |                     |                      |
|-------|------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|
|       |      |             |         |         |         | Método AMEBA        |                     |                      |
|       |      | 7 dias      | 14 dias | 28 dias | 56 dias | projeção<br>7/14→28 | projeção<br>7/14→56 | projeção<br>14/28→56 |
| Rico  | 0,36 | 64,1        | 71,5    | 76,45   | 78,45   | 77,2                | 81,5                | 80,2                 |
| Médio | 0,43 | 46,5        | 52,0    | 56,4    | 60,5    | 56,2                | 59,5                | 59,8                 |
| Pobre | 0,57 | 23,0        | 26,1    | 27,2    | 33,4    | 28,5                | 30,4                | 28,0                 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 35 - Resultados da resistência à compressão do concreto de referência pelo método da NBR 6118.

| Traço | Projeções                   |                   |                  |                   |                   |
|-------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Método da fórmula NBR 6118. |                   |                  |                   |                   |
|       | projeção<br>7→28            | projeção<br>14→28 | projeção<br>7→56 | projeção<br>14→56 | projeção<br>28→56 |
| Rico  | 78,3                        | 77,6              | 92,4             | 87,3              | 83,1              |
| Médio | 56,8                        | 56,5              | 67,0             | 63,5              | 61,3              |
| Pobre | 28,1                        | 28,4              | 33,2             | 31,9              | 29,5              |

Fonte: Próprio autor

Tabela 36 - Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria média pelo método da AMEBA

| Traço | a/c  | Rompimentos |         |         |         | Projeções           |                     |                      |
|-------|------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|
|       |      |             |         |         |         | Método AMEBa        |                     |                      |
|       |      | 7 dias      | 14 dias | 28 dias | 56 dias | projeção<br>7/14→28 | projeção<br>7/14→56 | projeção<br>14/28→56 |
| Rico  | 0,35 | 66,2        | 72,9    | 75,0    | 76,4    | 76,7                | 81,8                | 76,6                 |
| Médio | 0,44 | 37,6        | 51,4    | 53,7    | 59,0    | 64,1                | 74,9                | 55,4                 |
| Pobre | 0,57 | 21,7        | 24,1    | 24,6    | 25,5    | 25,9                | 27,3                | 24,9                 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 37 - Resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria média pelo método da NBR 6118.

| Traço | Projeções                   |                   |                  |                   |                   |
|-------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Método da fórmula NBR 6118. |                   |                  |                   |                   |
|       | projeção<br>7→28            | projeção<br>14→28 | projeção<br>7→56 | projeção<br>14→56 | projeção<br>28→56 |
| Rico  | 79,6                        | 77,9              | 95,4             | 89,0              | 81,5              |
| Médio | 45,9                        | 55,8              | 54,2             | 62,7              | 58,3              |
| Pobre | 26,5                        | 26,1              | 31,3             | 29,4              | 26,7              |

Fonte: Próprio autor

Tabela 38 - Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria média pelo método da AMEBA.

| Traço | a/c  | Rompimentos |         |         |         | Projeções           |                     |                      |
|-------|------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|
|       |      |             |         |         |         | Método AMEBa        |                     |                      |
|       |      | 7 dias      | 14 dias | 28 dias | 56 dias | projeção<br>7/14→28 | projeção<br>7/14→56 | projeção<br>14/28→56 |
| Rico  | 0,36 | 62,4        | 71,7    | 75,8    | 77,2    | 79,1                | 84,6                | 78,9                 |
| Médio | 0,45 | 47,7        | 51,8    | 54,8    | 62,5    | 54,8                | 57,1                | 57,1                 |
| Pobre | 0,58 | 17,5        | 19,3    | 22,2    | 23,5    | 20,7                | 21,8                | 24,4                 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 39 - Resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria média pelo método da NBR 6118.

| Traço | Projeções                   |                   |                  |                   |                   |
|-------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Método da fórmula NBR 6118. |                   |                  |                   |                   |
|       | projeção<br>7→28            | projeção<br>14→28 | projeção<br>7→56 | projeção<br>14→56 | projeção<br>28→56 |
| Rico  | 76,3                        | 77,9              | 90,0             | 87,5              | 82,3              |
| Médio | 58,3                        | 56,2              | 68,8             | 63,2              | 59,5              |
| Pobre | 21,3                        | 21,0              | 25,2             | 23,6              | 24,1              |

Fonte: Próprio autor

Tabela 40 - Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria fina pelo método da AMEBA.

| Traço | a/c  | Rompimentos |         |         |         | Projeções           |                     |                      |
|-------|------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|
|       |      |             |         |         |         | Método AMEBa        |                     |                      |
|       |      | 7 dias      | 14 dias | 28 dias | 56 dias | projeção<br>7/14→28 | projeção<br>7/14→56 | projeção<br>14/28→56 |
| Rico  | 0,36 | 65,2        | 70,4    | 72,2    | 74,5    | 75,3                | 77,3                | 73,5                 |
| Médio | 0,46 | 41,6        | 47,8    | 51,9    | 58,2    | 52,8                | 56,6                | 55,1                 |
| Pobre | 0,58 | 22,5        | 27,0    | 27,4    | 28,8    | 30,8                | 33,8                | 27,6                 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 41 - Resultados da resistência à compressão do concreto com 20% de RC com granulometria fina pelo método da NBR 6118.

| Traço | Projeções                   |                   |                  |                   |                   |
|-------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Método da fórmula NBR 6118. |                   |                  |                   |                   |
|       | projeção<br>7→28            | projeção<br>14→28 | projeção<br>7→56 | projeção<br>14→56 | projeção<br>28→56 |
| Rico  | 78,8                        | 76,7              | 93,9             | 86,0              | 78,4              |
| Médio | 50,8                        | 51,9              | 59,9             | 58,4              | 56,4              |
| Pobre | 27,4                        | 29,4              | 32,4             | 33,0              | 29,7              |

Fonte: Próprio autor

Tabela 42 - Comparação entre as previsões e os reais resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria fina pelo método da AMEBA.

| Traço | a/c  | Rompimentos |         |         |         | Projeções           |                     |                      |
|-------|------|-------------|---------|---------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|
|       |      |             |         |         |         | Método AMEBa        |                     |                      |
|       |      | 7 dias      | 14 dias | 28 dias | 56 dias | projeção<br>7/14→28 | projeção<br>7/14→56 | projeção<br>14/28→56 |
| Rico  | 0,38 | 67,6        | 71,0    | 74,6    | 78,0    | 74,4                | 75,3                | 77,3                 |
| Médio | 0,47 | 43,7        | 48,6    | 52,7    | 61,4    | 52,3                | 55,2                | 55,8                 |
| Pobre | 0,60 | 19,7        | 21,5    | 25,2    | 27,1    | 22,9                | 23,9                | 28,1                 |

Fonte: Próprio autor

Tabela 43 - Resultados da resistência à compressão do concreto com 40% de RC com granulometria fina pelo método da NBR 6118.

| Traço | Projeções                   |                   |                  |                   |                   |
|-------|-----------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|       | Método da fórmula NBR 6118. |                   |                  |                   |                   |
|       | projeção<br>7→28            | projeção<br>14→28 | projeção<br>7→56 | projeção<br>14→56 | projeção<br>28→56 |
| Rico  | 82,8                        | 77,7              | 97,4             | 86,7              | 81,0              |
| Médio | 53,3                        | 52,7              | 62,9             | 59,3              | 57,2              |
| Pobre | 24,1                        | 23,4              | 28,4             | 26,3              | 27,3              |

Fonte: Próprio autor

Pelas projeções feitas, considera-se as resistências em cada idade, o método que melhor condiz com a real resistência do concreto foi o AMEBA, porque foram inferiores aos apresentadas pelo método da NBR 6118.

Como observadas nas tabelas 34 a 43, as projeções do método AMEBA apresentaram resultados satisfatórios em relação aos resultados reais de resistências. Para as projeções de 56 dias a menor diferença para o traço rico entre o método e a resistência real foi para o concreto com 20% de RC com granulometria média com diferença de apenas 0,26% (de 76,6 MPa para 76,4 MPa). Porém, ainda para o traço rico pode-se observar que o traço de concreto com substituição de 20% e 40% de RC com granulometria fina teve um ganho final maior que o apresentado pelo método AMEBA.

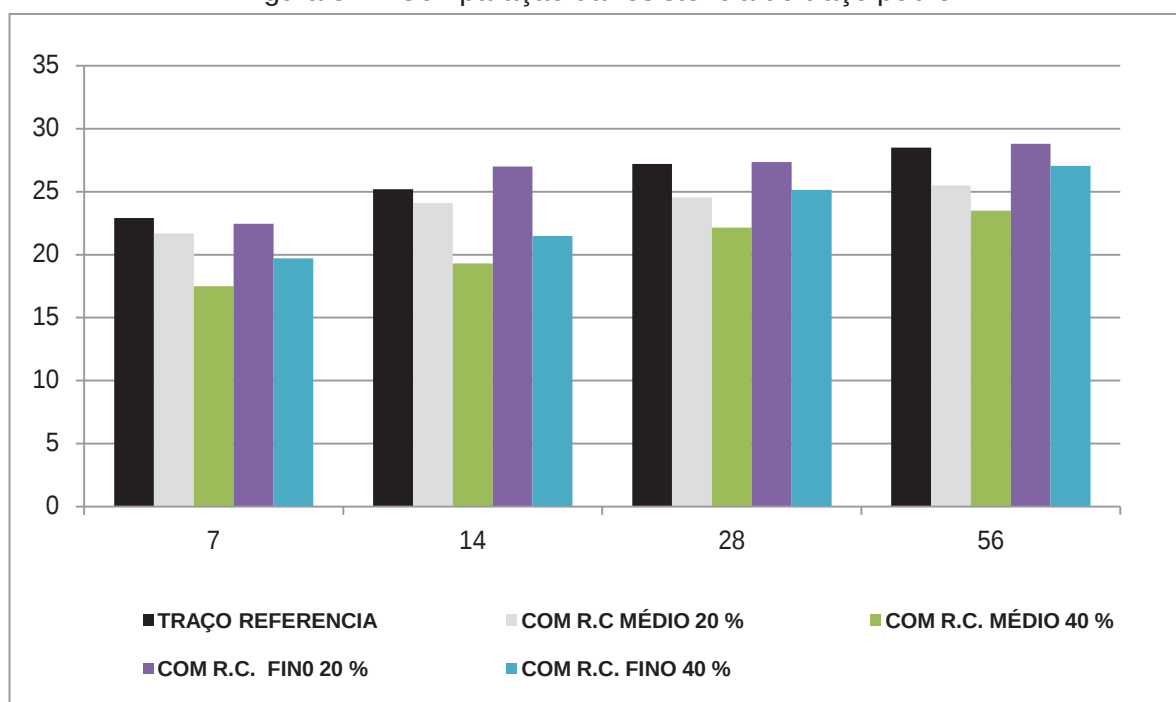
Em relação ao traço médio para os 56 dias, todos os resultados de resistência a compressão apresentaram-se melhor que os calculados pelo método. A maior diferença se encontra no concreto com 40% de RC com granulometria fina, onde a diferença da resistência real em relação a sua projeção foi de 10% (de 61,4 MPa para 55,8 MPa)

No traço pobre aos 56 dias, a menor diferença ficou em relação ao concreto de 20% RC de granulometria média com apenas 2,4% de diferença entre o real e o calculado pelo método (de 25,5 MPa para 24,9 MPa). Porém, o traço que chegou num melhor resultado de resistência, comparando-se com método AMEBA, foi o concreto de referência com 19%, uma vez que o real obteve uma maior resistência comparando-se ao método (de 33,4 MPa para 28,0 MPa).

#### **4.2.5 Comparação das resistências entre todos os traços.**

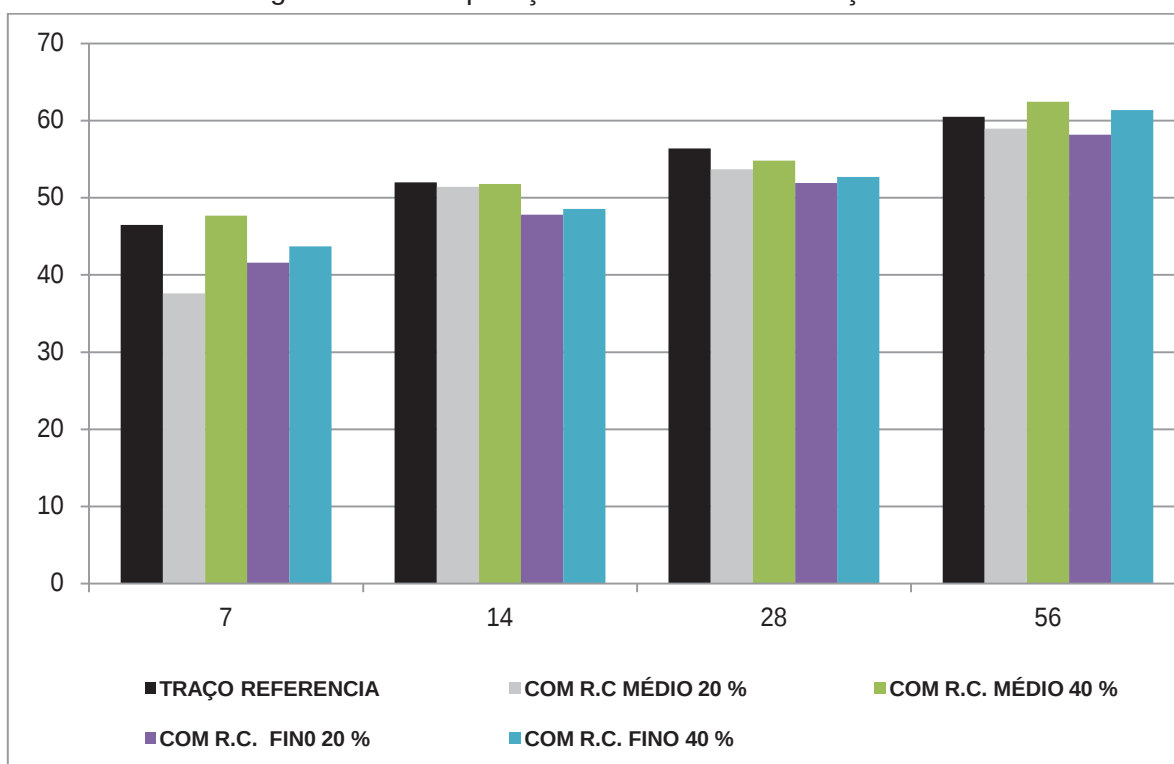
Nas fig. 37 a 39, pode-se observar a resistência de todos os traços confeccionados para esse estudo. A comparação foi feita para atingir resultados satisfatórios para a utilização de resíduo de concreto em substituição ao agregado miúdo.

Figura 37 - Comparação da resistência do traço pobre.



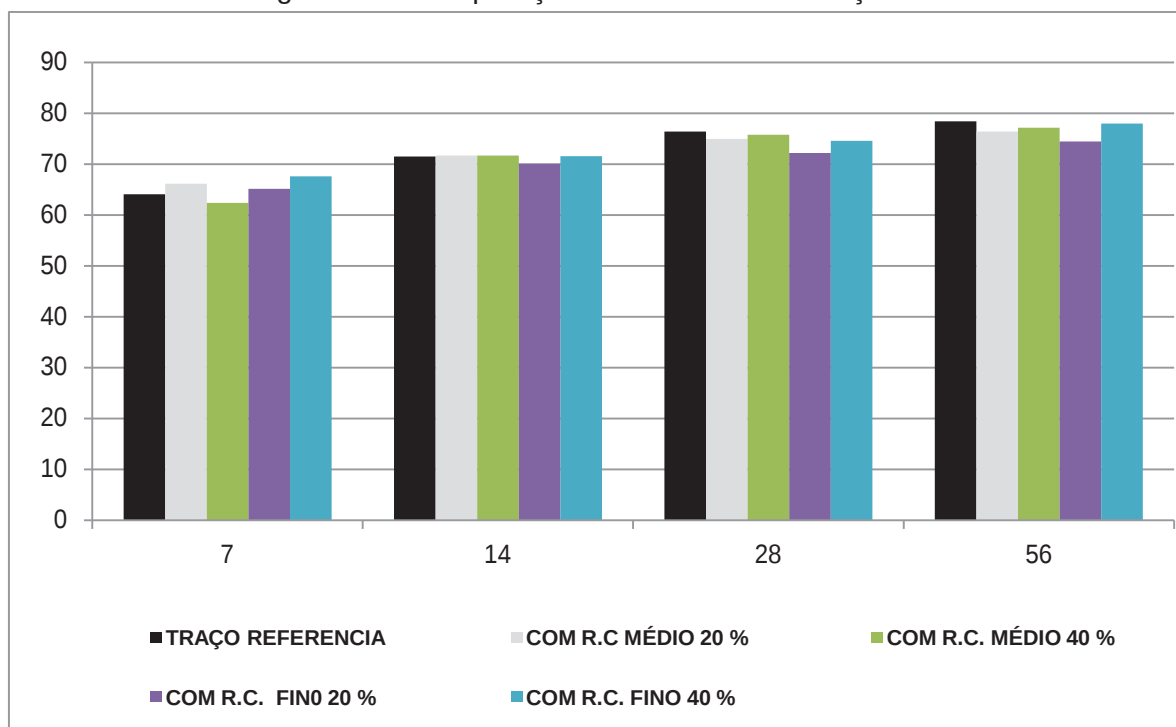
Fonte: Próprio autor

Figura 38 - Comparação da resistência do traço médio.



Fonte: Próprio autor

Figura 39 - Comparação da resistência do traço rico.



Fonte: Próprio autor

Observa-se na fig. 37 que o traço pobre, confeccionado com 40% de resíduo de concreto com granulometria fina, foi o que apresentou o maior ganho de resistência dos 7 aos 56 dias, com um aumento de 37,3% (de 19,7 MPa a 27,0 MPa), enquanto o traço com substituição de 20% r.c. com granulometria média foi o de menor ganho de resistência dos 7 aos 56 dias, com aumento 17,5% (de 21,7 MPa a 25,5 MPa).

Para o traço médio, o aumento da resistência dos 7 aos 56 dias, foi maior para o concreto com substituição de 20% de r.c. com granulometria média, resultando em um ganho de 56,78% ( de 37,6 MPa para 58,9 MPa), esta ocorrência se deu devido ao fato de a resistência aos 7 dias do concreto ter sido baixa. Já a menor variação de resistência foi a do traço de referência, com aumento 30,1% (de 46,5 MPa para 60,5 MPa), conforme pode ser observado na fig. 38.

Para o traço rico, observado na fig. 39, o maior ganho se deu no concreto com substituição de 40% de r.c. com granulometria média, representado um ganho de 23,71% (de 62,4 MPa para 77,2). A menor variação foi obtida para o concreto com 20% de substituição de R.C com granulometria fina, com um aumento de 14,26% (de 65,2 MPa para 74,5 MPa), isso ocorreu devido ao fato de se estar

usando o cimento CPV-ARI, que tem um aumento de resistência substancial nas primeiras idades e menor variação em idades mais avançadas.

#### **4.2.6 Comparação do custo/m<sup>3</sup> de concreto dos traços confeccionados.**

Com os traços determinados, foi calculado o custo dos concretos, o preço do cimento, da areia fina e média, assim como a brita estão contidos na revista Construção e Mercado de julho de 2011, para o resíduo de concreto o preço foi obtido junto à usina de reciclagem de entulho da cidade de São Carlos e o aditivo foi junto ao fabricante.

Na tabela 44 são apresentados os custo por m<sup>3</sup> do concreto para cada traço, pobre, médio e rico confeccionado, de acordo com o traço de referência e com suas substituições. Foi demonstrado também o custo dos concretos em função da resistência à compressão nas seguintes idades, aos 28 dias e aos 56 dias, para que seja possível determinar valores reais de comparação em relação as suas resistências para cada traço.

Na fig. 40 e 41, estão plotados todos os resultados apresentados na tabela 44, do custo em reais por MPA, para as idades de 28 e 56 dias, buscando uma melhor visualização dos mesmos, analisando esta relação custo/benefício, pode-se ter um melhor resultado do benefício alcançado pelos concretos. Ainda nas fig. de 40 e 41 mostram os valores comparativos para todos os concretos estudados, em reais por MPa, para cada traço (pobre, médio e rico) e para as idades de compressão de 7, 14, 28 e 56 dias). Este custo/MPa, é muito útil pois este determina quanto custa para alcançar cada MPa.

Tabela 44 - Valor do custo/m<sup>3</sup> e custo/MPa aos 28 e 56 dias.

| Traços                           |       | Custo/m <sup>3</sup> | Custo/MPa aos 28 dias | Custo/MPa aos 56 dias |
|----------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Traço de referência              | Pobre | 278,13               | 10,22                 | 8,33                  |
|                                  | Médio | 311,09               | 5,51                  | 5,14                  |
|                                  | Rico  | 355,19               | 4,64                  | 4,52                  |
| Traço de r.c com gran. média 20% | Pobre | 270,36               | 10,99                 | 10,6                  |
|                                  | Médio | 302,92               | 5,64                  | 5,13                  |
|                                  | Rico  | 349,11               | 4,65                  | 4,56                  |
| Traço de r.c com gran. média 40% | Pobre | 261,74               | 11,8                  | 11,13                 |
|                                  | Médio | 295,26               | 5,38                  | 4,72                  |
|                                  | Rico  | 342,98               | 4,52                  | 4,44                  |
| Traço de r.c com gran. fina 20%  | Pobre | 269,14               | 9,82                  | 9,34                  |
|                                  | Médio | 300,03               | 5,78                  | 5,15                  |
|                                  | Rico  | 347,09               | 4,81                  | 4,67                  |
| Traço de r.c com gran. fina 40%  | Pobre | 258,7                | 10,26                 | 9,54                  |
|                                  | Médio | 291,45               | 5,53                  | 4,74                  |
|                                  | Rico  | 327,5                | 4,39                  | 4,19                  |

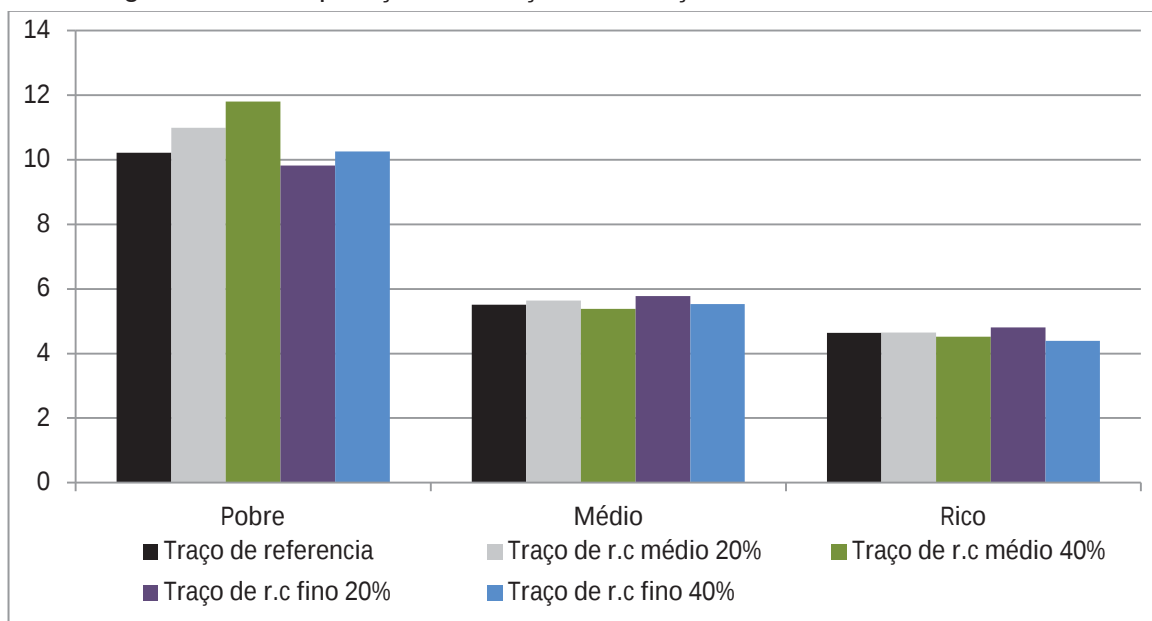
Fonte: Próprio autor

Da tabela 44, pode-se observar o custo/MPa nas idades de 28 e 56 dias, mostrando que os concretos com resíduos de concreto são viáveis quando comparados com o traço de referência, com relação ao consumo de materiais na sua confecção. Para o traço pobre, o concreto menos oneroso aos 28 dias, foi com 20% de resíduo de concreto com granulometria fina, com custo estimado em 9,82 reais/MPa. Já aos 56 dias foi o concreto de referência com 8,33 reais/MPa.

Ainda na tabela 44, para o traço médio, o menor custo/MPa ocorreu para o traço com resíduo de concreto com granulometria média e 40% de substituição, tanto para os 28 dias como para os 56 dias, com 5,3 reais/MPa e 4,72 reais/MPa respectivamente. Porém, para o traço rico, o traço com r.c. com granulometria fina com 40% e substituição apresentou ótimos resultados para as duas idades de 28 e 56 dias, com 4,39 reais/MPa e 4,19 reais/MPa respectivamente..

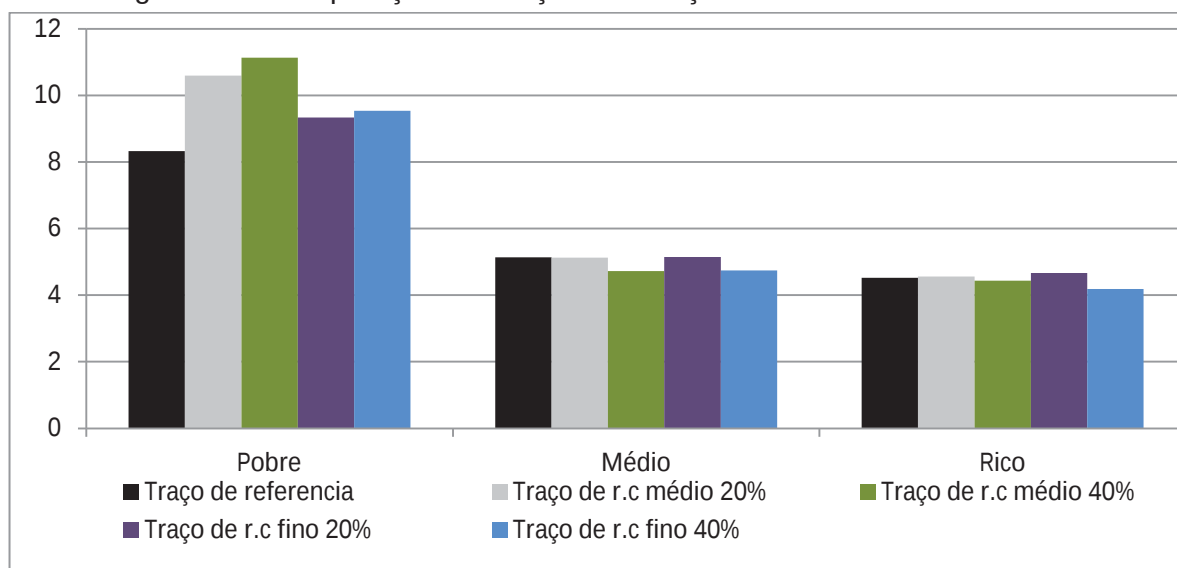
Para os concretos com maiores resistências, o custo/MPa se apresenta melhor que o concreto de referência se comparado com concretos com maior teor de substituição, possivelmente pelo fato de o resíduo de concreto apresentar atividade pozolânica.

Figura 40 - Comparação dos traços em relação ao Custo/MPa aos 28 dias



Fonte: Próprio autor

Figura 41 - Comparação dos traços em relação ao Custo/MPa aos 56 dias



Fonte: Próprio autor

## 5 CONCLUSÕES

Este estudo apresentou resultados da substituição de parte do agregado miúdo pela adição de material fino produzido com resíduos de concreto. O estudo em questão teve como principal objetivo comparar o comportamento mecânico entre concretos produzidos com agregado reciclado de concreto, em relação a um concreto de referência, possibilitando, uma melhor análise dos custos/benefícios proporcionados pela utilização destes resíduos. Na pesquisa foi fixado o teor de aditivo em relação ao cimento e foi alterado o a/c devido à necessidade do concreto em alcançar a suas propriedades de acordo com ensaios para o CAA.

Os melhores resultados observados de acordo com a resistência dos traços foram para os concretos de baixa resistência (traço pobre), aos 28 dias com r.c. com 20% de substituição com granulometria fina e aos 56 dias para o concreto de referência. Para os concretos de média resistência (traço médio) o concreto com r.c. com 40% de substituição média apresentou o melhor resultado tanto para os 28 quanto para os 56 dias, para os concretos de alta resistência (traço rico) o concreto que obteve o melhor resultado tanto para os 28 quanto para os 56 dias foi com r.c. com 40% substituição com granulometria fina.

Pelos resultados da comparação dos custos/MPa dos concretos estudados, observou-se que o agregado de resíduo de concreto apresenta-se como alternativa de material reciclável, visto que, os concretos feitos com os mesmos apresentaram resultados próximos ou superiores ao dado concreto de referência. Pode-se concluir que o concretos produzidos com agregado reciclado de concreto é viável economicamente e ainda se apresenta como alternativa para a preservação ambiental.

## 6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se:

- dar continuidade aos estudos com CAA, buscando demonstrar a viabilidade econômica e social para o uso do resíduo de concreto em uma gama de materiais alternativos, que podem se reciclados. Estes concretos podem ser utilizados em diversas peças, podendo, ser realizados ensaios com lajes, vigas e etc., pois este trabalho está centrado nas propriedades do material, e não das possíveis aplicações inerente ao concreto.
- Estudar a utilização de outros tipos de resíduo, como, por exemplo, os resíduos cerâmicos, pozolânicos entre outros, visando à utilização de uma grande variedade de materiais que são descartados no meio ambiente diariamente
- Avaliar outras possibilidades de dosagem, segundo metodologias propostas por outros pesquisadores, buscando assim avaliar quais métodos mais adequados em função das propriedades requeridas da aplicação do concreto e dos materiais constituintes, levando-se em conta a relação custo/benefício.
- Confeccionar concretos com maiores teores de substituição, uma vez que, esses concretos demonstraram melhores custo/benefício em relação a concretos de referência, sugere-se estudos com 60, 80 e 100% de substituição em relação ao agregado miúdo e também ao agregado graúdo, avaliando-se as possibilidade de aplicação (estrutural e não estrutural).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2010. p. 102-103.

AGUIAR, G. S. G.; COUTINHO, L. G. A.; OLIVEIRA, M. J. E. Estudo da adição de agregado reciclado ao concreto. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2002. p. 277-282.

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

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. 167 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAÚJO, J.; GEYER, A.; ANDRADE, M. Influência de adições minerais pozolânicas e de finos de pedra na propriedades mecânicas e na microestrutura do concreto auto adensável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 50., 2008, Salvador. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2008. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9202 – Determinação da finura por meio da peneira 0,044 mm (nº 325)**. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004 – Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11578 – Cimento Portland composto: especificação**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11579 – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil: áreas de reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5737 – Cimento Portland resistente a sulfatos: especificação**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto:** procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211 – Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7215 – Cimento Portland:** determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7215 – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 23 – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248 – Agregados:** determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 30 – Agregado miúdo:** determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45 – Agregados:** determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 46 – Agregado miúdo:** determinação do material fino que passa na peneira de 75 micrometros por lavagem. Rio de Janeiro, 2003c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 49 – Agregado miúdo:** determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52 – Agregado miúdo:** determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53 – Agregado graúdo:** determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 65 – Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 76 – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 65 – Cimento Portland:** determinação do Tempo de Pega. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NM 76 – Cimento Portland**: determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

AYDIN A.C. Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 21, n. 6, p. 1149–1154, 2007.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduo de construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 65-72, 2006.

BARLUENGA, G.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age: experimental results on standard concrete and SCC. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 37, n. 12, p. 1624–1638, 2007.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BIGNOZZI, M. C.; SANDROLINI, F. Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 36, n. 4, p. 735-739, 2006.

BLUMENSCHNIG, R. N. **Gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras**. Brasília, DF: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico, Universidade de Brasília, 2007. (Dossiê Técnico).

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BUTTLER, A. M.; MACHADO JUNIOR, E. F. Agregados reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades físicas dos agregados. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2003.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

CARRIJO, P. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

CASUCCIO, C. et al. Failure mechanism of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 22, p. 1500-1506, 2008.

CATOIA, T. et al. Concreto auto adensável de alta resistência mecânica e baixo consumo de cimento. **Concreto e Construções**, São Paulo, ano 37, n. 55, p. 48-55, jul./set. 2009.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COLLEPARDI, M. Self compacting concrete: what is new? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE – CANMET/ACI, 7., 2003. **Proceedings...** [S.l.: s.n., 2003]. p. 1-16,

CONCRETE SOCIETY. **Self compacting concrete**: a review. Surrey, 2005. (Technical Report, n. 62).

COSTA, F. et al. Reciclagem de resíduos de concreto através de beneficiamento e suas aplicações em central de concreto na cidade de Florianópolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2004. 1 CD-ROM.

DIOGO, J. H. C. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

ETXEBERRIA, M. et al. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 37, p. 735-742, 2007.

GANJIAN, E.; KHORAMI, M.; MAGHSOUDI, A. A. Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, n. 5, p. 1828-1836, 2009.

GIRBÉS, I. et al. Propiedades reológicas y mecánicas de hormigones auto compactantes que incorporan lodos de corte de mármol. In: BARRAGÁN, B.; PACIOS, A.; SERNA, P. (Eds.). **Anales del Primer Congreso Español sobre Hormigón Autocompactante**. Valencia: [s.n.], 2008. p. 533-541.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto auto adensável**. São Paulo: PINI, 2009.

GOMES, P. C. et al. Obtención de hormigón autocompactable utilizando residuo de la industria de corte de bloques de mármol y granito. In: DIMAIO, A.; ZEGA, C. (Eds.). **Anales del Simposio FIB – El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo**. La Plata: [s.n.], 2005.

GOMES, P. C. C. et al. **Concreto auto adensável: obtenção, propriedades e aplicações**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2006.

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. Tese (Doutorado) – Universidade de Barcelona, 2002.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. V. Relationship between gas adsorption and the shrinkage and creep of recycled aggregate concrete. **Cement, Concrete and Aggregates**, Philadelphia, v. 25, n. 2, paper IDC CCA11386, p. 252, 2003.

GÜNEYISI, E.; GESOGLU, M.; ÖZBAY, E. Evaluating and forecasting the initial and final setting times of self-compacting concretes containing mineral admixtures by neural network. **Materials and Structures**, London, v. 42, p. 469-484, 2009.

GÜNEYISI, E.; GESOGLU, M. Properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and metakaolin. **Materials and Structures**, London, v. 41, p. 1519-1531, 2008.

HABERT, G.; ROUSSEL, N. Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives. **Cement and Concrete Composites**, Oxford, v. 31, p. 397-402, 2009.

HENDRIKS, C. F. et al. **O ciclo da construção**. Brasília: Editora UnB, 2007.

ISAIA, G. C. **Concreto, ensino, pesquisas e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 178 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

KHATIB, J. M. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 22, p. 1963-1971, 2008.

LIN Y. H. et al. An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 34, p. 1373-1380, 2004.

LOTURCO, B. A nova lei do lixo. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 82, p. 52-55, jan. 2004.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MARSH B. High-volume fly ash concrete. **Concrete**, London, v. 37, n. 4, p. 54-55, 2003.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO, C. A.; MARTINS, V. C.; REPETTE, W. L. Estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 45-56, 2009.

MELO, K. A. **Contribuição a dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENDES, B. S.; BORJA, E. V. **Estudo experimental das propriedades físicas de argamassas com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas**. Rio Grande do Norte: CEFET-RN, 2007. (Trabalho técnico).

MESQUITA, E. F. T. et al. 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.

NAJIM, K. B. Modulus of elasticity and impact resistance of chopped worn-out tires concrete. **Iraqi Journal of Civil Engineering**, [s.l.], v. 1, n. 6, p. 83-96, 2005.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: Rima, 2005. 162 p.

PADMINI, A. K.; RAMAMURTHY, K.; MATHEWS, M. S. Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, p. 829-836, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro: Globo, 1993.

RAHAL, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, p. 407-415, 2007.

ROUSSAT, N. et al. Leaching behavior of hazardous demolition waste. **Waste Management**, Oxford, v. 28, p. 2032-2040, 2008.

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.

SANTIAGO, E. Q. R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para obtenção de concretos leves**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, dez. 2004.

STURTEVANT, J. R. **Performance of rigid pavements containing recycled concrete aggregates**. 139 f. Dissertação (Mestrado) - University of New Hampshire, New Hampshire, 2007.

TABSH, S.; ABDELFAH, A. Influence of recycled concrete aggregate on strength properties of concrete. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, p. 1163-1167, 2009.

TROLI, R. et al. **Low heat development in self-compacting concretes for massive structure**. In: CANMET/ACI INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 7., 2003, Berlin. **Proceedings...** Farmington Hills: American Concrete Institute, 2003. p. 103-112.

TU, T. Y.; CHEN, Y. Y.; HWANG, C. L. Properties of HPC with recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 36, p. 943-950, 2006.

TURATSINZE, A.; GARROS, M. On the modulus of elasticity and strain capacity of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 52, n. 10, p. 1209-1215, 2008.

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

VEJMELOVÁ, E. et al. High performance concrete with Czech metakaolin: experimental analysis of strength, toughness and durability characteristics. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 24, p. 1404-1411, 2010.

VERÇOSA, E. J. Introdução. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. v. 1, p. 1-10.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, p. 47-63, 2004.

VIEIRA, L. G.; DAL MOLIN, C. D.; LIMA, B. F. Corrosão em armaduras de concretos obtidos com agregados reciclados de construção. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2003. 1 CD-ROM.

ZHANG, S. Q. et al. Self-compacting concrete, worldwide experience. In: SHI, C. et al. (Eds.). **Proceedings of 2nd. International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC**. Bagneux: RILEM, 2009. p. 831-840.