UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CLARISSA RIBEIRO DE SÁ RODRIGUES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Recife,PE
2011

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CLARISSA RIBEIRO DE SÁ RODRIGUES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador (a): Profª. Drª Stela Fucale Sukar

Co-orientador (a): Profª Drª Kalinny Lafayette

Recife, PE
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco –

R696a

Rodrigues, Clarissa Ribeiro de Sá
Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil / Clarissa Ribeiro de Sá Rodrigues. – Recife : UPE, Escola Politécnica, 2011.
114 f.

Orientadora: Dra Stela Fucale Sukar
Co-Orientadora: Dra Kalinny Lafayette
Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

1.Construção civil 2. Resíduos da construção civil 3. Agregado reciclado 4. Concreto reciclado 5. Construção civil.- Dissertação I. Sukar, Stela Fucale (orient.) II. Lafayette, Kalinny (Co-orient.) III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDU 624.01

CLARISSA RIBEIRO DE SÁ RODRIGUES

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

Profª Drª Stela Fucale
Orientadora
Universidade de Pernambuco

Co-orientador

Profª Drª Kalinny Patrícia Vaz Lafayette
Co-orientadora
Universidade de Pernambuco

Examinadores:

Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene
Examinador externo
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Ângelo Just da Costa e Silva
Examinador externo
Universidade Católica de Pernambuco

Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Examinador Interno
Universidade de Pernambuco

Recife, PE
2011

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu Senhor, a quem devo minha vida e todas as minhas conquistas.

À minha família, meus pais, Francisco e Marta, meus irmãos, Filipe, Isadora e Maria Clara que sempre me apoiaram incondicionalmente. À minha avó Izabel pelo seu exemplo de conduta e incentivo à busca do conhecimento.

À meu amor Thiago pelo apoio incondicional e paciência durante o período do mestrado.

À minha querida orientadora, Profª Drª Stela Fucale, por sua orientação, de fundamental importância para a realização deste trabalho, pelo seu apoio, serenidade, acolhimento, confiança e por acreditar em meu potencial.

Ao Profº Drº Alexandre Gusmão pelas inúmeras contribuições, incentivo e apoio durante toda a pesquisa.

À Professora Profª Drª Kalinny Lafayette pelo apoio durante a coleta e beneficiamento do material e contribuições nas correções finais da dissertação.

Ao Profº Msc. Tibério Andrade e Profº Dr. Ângelo Just por viabilizarem a realização dos ensaios mecânicos do concreto nas instalações da TECOMAT e apoio às análises dos resultados.

À Profª Drª Eliana Monteiro que possibilitou a realização do intercâmbio à Universidade de São Paulo.

Ao Profº Silvio Romero pelas contribuições dadas durante o seminário de qualificação

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco e secretária do PEC, D. Lúcia Rosani.

Aos amigos do mestrado, em especial à Carolina Mendonça, Mª Luiza Neves, Karla Oliveira e Noemi Bahia pela amizade e companheirismo durante todo o mestrado, à Ana Carmelita pela sua amizade, companheirismo e sua ajuda fundamental durante os procedimentos experimentais e para a realização deste trabalho.

Aos alunos de graduação Cybelle Viana, Marília Barros, Marília Oliveira, Béda Barkokébas, João Ribeiro, Rebeca e Sidney pela ajuda durante o procedimento experimental da pesquisa.

À Fábio Ferreira pelo apoio durante os procedimentos experimentais.

Aos órgãos de fomento a pesquisa, FACEPE, pela bolsa de estudos e CAPES pelo financiamento do intercâmbio à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, através do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica – Novas Fronteiras.

Ao Profº Drº Paulo Helene pelo seu apoio e acolhimento durante o período em São Paulo

Ao Profº Dr. Silvio Melhado e Profª Silvia Selmo pelas contribuições ao trabalho. Profº Dr. Salomon Levy pelas contribuições e por gentilmente ceder materiais para melhoria da pesquisa. Ao Profº Dr. Sérgio Angulo e Msc. Renato Nascimento pelas contribuições.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RODRIGUES, Clarissa Ribeiro de Sá. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil.** Recife: UPE, 2011. 118p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta os resultados de uma investigação em laboratório em concretos confeccionados com agregados reciclados de Resíduos da Construção Civil (RCC), com a finalidade de observar a influencia da utilização deste material nas características mecânicas do concreto. Para tanto, foi necessária a coleta de uma amostra de RCC em um empreendimento, em etapa de estrutura, construído na cidade do Recife, Pernambuco, e posteriormente, o beneficiamento dos resíduos coletados, para transformação em agregado miúdo. Ensaios de caracterização (análise da composição gravimétrica, granulometria, massa específica, teor de material pulverulento) foram conduzidos nos agregados naturais e reciclados, a fim de se conhecer as propriedades físicas destes materiais. Inicialmente foi realizado um estudo de dosagem experimental de três famílias de concreto, referência (0%), com 50% e 100% de substituição de agregado miúdo natural pelo reciclado, a partir de um traço intermediário (1:5), com o intuito de determinar o teor ideal de argamassa para cada traço em massa. Posteriormente foram calculados os traços para cada família (referência, 50 e 100% de substituição), um pobre (1:6,5), um intermediário (1:5) e um rico (1:3,5) em cimento. Foram analisadas as características dos concretos produzidos tanto no estado fresco (trabalhabilidade e massa específica), quanto no endurecido (absorção de água, resistência à compressão e módulo de elasticidade). Após obtenção dos resultados dos ensaios realizados, foram construídos diagramas de dosagem, onde foi possível estudar as correlações entre as propriedades mecânicas dos concretos e as variáveis que influenciam estes parâmetros. Concluiu-se que é possível a utilização do agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil para a produção de concretos sem grandes prejuízos às propriedades mecânicas avaliadas. Contudo a aplicação em concretos estruturais requer um controle no momento de dosagem e estudos aprofundados em relação à durabilidade deste material.

Palavras-chave: Construção civil. Resíduos da construção civil. Agregado reciclado. Concreto Reciclado.

RODRIGUES, Clarissa Ribeiro de Sá. **Evaluation of mechanical properties of concrete made with recycled aggregate from civil construction waste.** Recife:UPE, 2011. 118p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife.

ABSTRACT

This paper presents the results of a laboratory investigation in concrete made with recycled aggregates from Civil Construction Waste (CCW), in order to observe the influence of this material on mechanical characteristics of concrete. Therefore, it was necessary to collect a sample of CW in an enterprise, in structure stage, built in the city of Recife, Pernambuco, and later, the processing of the material collected for processing into aggregate. Characterization tests (composition analysis gravimetric, grain size, density, quantity of powder material) were conducted in natural and recycled aggregates, to know the physical properties of these materials. Initially it was conducted a experimental dosage study of three families of concrete, reference (0%), with 50 and 100% replacement of natural fine aggregate from recycled aggregate, from an intermediate trait (1:5), to determine the level of ideal mortar mass for each trait. Later the traces were calculated for each family (reference 50 and 100% substitution), a poor (1:6,5), an intermediate (1:5) and rich (1:3, 5) in cement. It was analyzed the characteristics of concrete produced in fresh state (workability and density), and hardened state (water absorption, compressive strength and modulus). After obtaining the results of the experiments conducted, dosage diagrams were constructed, so it was possible to study the correlations between the mechanical properties of the concrete studied and analyze the parameters that influence it. It was concluded that it is possible to use the recycled fine aggregate from construction waste to produce concrete without significant damage to its mechanical properties. However the application in structural concrete requires a control at the moment of dosing and studies about the durability of this material.

Keywords: Construction. Construction waste. Recycled aggregate. Concrete. Recycled concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem média dos constituintes da amostra de RCC analisada (zordan, 1997)..... 26

Figura 2 – Distribuição média dos resíduos de construção civil coletados em um aterro de inertes da cidade de Porto Alegre – RS (LEITE, 2001)..... 27

Figura 3 – Composição de resíduo utilizado proveniente da cidade de Maceió- AL (VIEIRA & MOLIN, 2004)..... 27

Figura 4 – Composição da amostra de RCC proveniente da cidade de Recife – PE (CARNEIRO, 2005)..... 28

Figura 5 – Composição gravimétrica de RCC proveniente de Uberlândia – MG (MORAES, 2006)..... 28

Figura 6 – Composição da amostra de RCC coletada em Goiânia – GO (NUNES, 2007)..... 29

Figura 7 – Composição do RCC de Ituiutaba – MG (TAVARES & DIAS, 2008)..... 29

Figura 8 – Composição média de resíduos provenientes de Taiwan (JI CHEM et al., 2003)..... 30

Figura 9 – Percentual de entulho retido nas peneiras de série normal (ZORDAN, 1997)..... 32

Figura 10 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural e reciclado (LEITE, 2001)..... 33

Figura 11 - Curva granulométrica do agregado natural e reciclado (LEITE, 2001)..... 33

Figura 12 - Curvas granulométricas dos agregados miúdos (BUTLER, 2003)..... 34

Figura 13 - Curvas granulométricas dos agregados graúdos reciclados (BUTLER, 2001).35

Figura 14 - Distribuição passante acumulada dos agregados reciclados de ITV (Itaquera vermelha), ITC (Itaquera cinza) e VIV (vinhedo vermelha) (ANGULO), 2005..... 36

Figura 15 – Teores de material pulverulento para as amostras (ANDULO, 2000)..... 38

Figura 16 – Taxas de absorção de água das amostras coletadas (Cabral, 2007)..... 43

Figura 17 – Absorção dos agregados (BUTLER, 2003)..... 44

Figura 18 – Diagrama de dosagem – Modelo genérico de comportamento. (HELENE & TERZIAN, 1993)..... 47

Figura 19 – Trabalhabilidade em função do consumo de cimento (Zordan, 1997)..... 49

Figura 20 – Valores de medida da consistência dos concretos pelo abatimento do tronco de cone x massa específica do agregado (CARRIJO, 2005)..... 50

Figura 21 – Abatimento x relação a/c (FONSECA, 2006)..... 50

Figura 22 – Taxas de absorção dos concretos estudados (SOUZA & CABRAL, 2009).. 54

Figura 23 – Valores de resistência à compressão dos concretos estudados (NUNES, 2007)..... 56

Figura 24 – Resistência à compressão dos concretos (TENÓRIO, 2007)..... 57

Figura 25 – Resistência à compressão x relação a/c (LOVATO, 2007)..... 57

Figura 26 – Curvas de módulo de deformação em função da relação a/c (LEITE, 2001). 59

Figura 27 – Curvas de módulo de elasticidade em função da relação a/c (LOVATO, 2007)..... 60

Figura 28 – Coleta de resíduos junto a caçamba estacionária..... 62

Figura 29 – Coleta da amostra de resíduo em obra em etapa de estrutura..... 62

Figura 30 – Aspecto do material bruto..... 63

Figura 31 – Material passante na peneira de # 4,8mm..... 63

Figura 32 – Separação do material..... 63

Figura 33 – Pesagem da fração de concreto..... 63

Figura 34 – Britados de mandíbulas..... 64

Figura 35 – Separação da fração miúda através de peneira de # 4,8 mm..... 64

Figura 36 – Aspecto do agregado reciclado miúdo após beneficiamento..... 65

Figura 37 – Aspecto do material após correção granulométricas..... 65

Figura 38 – Verificação visual do teor de argamassa..... 68

Figura 39 – Acréscimo de argamassa na mistura..... 69

Figura 40 – Moldagem dos corpos de prova..... 72

Figura 41 – Acondicionamento dos corpos de prova em câmara úmida..... 72

Figura 42 – Adensamento do concreto para ensaio da massa específica..... 73

Figura 43 – Secagem dos corpos de prova em estufa..... 74

Figura 44 – Submersão dos corpos de prova em água..... 74

Figura 45 – Ensaio de resistência à compressão..... 74

Figura 46 – Retificação dos corpos de prova..... 75

Figura 47 – Aspecto dos corpos de prova após serem retificados..... 75

Figura 48 – (a) Ensaio de determinação do módulo de elasticidade (b) Detalhe de fixação dos extensômetros..... 76

Figura 49 – Composição gravimétrica da amostra..... 78

Figura 50 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado natural (AMN) e agregado miúdo reciclado (AMR) e respectivos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005)..... 80

Figura 51 – Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado..... 81

Figura 52 – Consumo de cimento dos concretos produzidos..... 84

Figura 53 – Consumo de água por m³ de concreto..... 85

Figura 54 – Aspecto do C100QAMR$_{3,5}$ ao utilizar a mesma relação a/c do concreto de referência (0,48), apresentando abatimento 0 (zero)..... 86

Figura 55 – Relação a/c em função do teor de substituição do agregado miúdo reciclado..... 86

Figura 56 – Comparação do aspecto visual entre o concreto de referência e reciclado com 50% de substituição..... 87

Figura 57 – Massa específica das famílias de concreto no estado fresco..... 88

Figura 58 – Porcentagem de decréscimo da massa específica dos concretos estudados... 89

Figura 59 – Absorção de água dos concretos..... 90

Figura 60 – Percentuais de absorção em relação ao concreto de referência..... 90

Figura 61 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3 dias..... 92

Figura 62 – Resultado do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias..... 93

Figura 63 – resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias..... 93

Figura 64 – resultados do ensaio de resistência à compressão aos 91 dias..... 94

Figura 65 – Módulo de elasticidade aos 3 dias..... 95

Figura 66 – Módulo de elasticidade aos 7 dias..... 95

Figura 67 – Módulo de elasticidades aos 28 dias..... 96

Figura 68 – Módulo de elasticidade aos 91 dias..... 96

Figura 69 – Diagrama de dosagem – concreto de referência..... 98

Figura 70 – Diagrama de dosagem – C50AMR..... 98

Figura 71 – Diagrama de dosagem – C100AMR..... 99

Figura 72 – Diagrama de dosagem – Módulo – Concreto de referência..... 100

Figura 73 – Diagrama de dosagem – Módulo – C50AMR..... 101

Figura 74 – Diagrama de dosagem – Módulo – C100AMR..... 101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2009 e 2010 (ABRELPE, 2010)..... 23

Tabela 2 - Características e classificação do RCC proveniente de Passo Fundo – MG (BERNARDES et al, 2008)..... 30

Tabela 3 – Resumo dos resultados encontrados para composição gravimétrica em diferentes pesquisas..... 31

Tabela 4 - Composição granulométrica do agregado reciclado (CARNEIRO, 2005)..... 36

Tabela 5 - Percentual retido acumulado dos agregados nas peneiras (CARRIJO, 2005).. 37

Tabela 6 – Valores de teor de material pulverulento em diferentes pesquisas..... 39

Tabela 7 – Valores de massa específica dos agregados miúdos e graúdos reciclados (LEITE, 2001)..... 40

Tabela 8 – Valores de massa específica de agregados reciclados coletados na cidade de Maceió-AL (VIEIRA, 2003)..... 40

Tabela 9 – Valores de massa específica para diferentes estudos..... 41

Tabela 10 – Taxas de absorção obtidas para agregados graúdos e miúdos (LEVY, 42

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de absorção dos agregados (CARRIJO, 2005)..... 44

Tabela 12 – Absorção dos grãos retidos na peneira # 4,8 mm do agregado reciclado de Santo André, de acordo com a natureza dos seus constituintes (Leite, 2007). 45

Tabela 13 – Valores de teor de absorção obtido em diferentes pesquisas..... 45

Tabela 14 – Correlações assumidas como “Leis de Comportamento” (HELENE & TERZIAN; 1993)..... 48

Tabela 15 – Valores de massa específica (BUTTLER, 2003)..... 52

Tabela 16 – Valores comparativos entre o concreto de referência e o concreto com 100% de teor de agregado reciclado..... 52

Tabela 17 – Taxas de absorção de água do concreto obtidas por Buttler (2003)..... 54

Tabela 18 - Tabela resumo do programa experimental da pesquisa..... 61

Tabela 19 - Ensaios realizados nos agregados..... 66

Tabela 20 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento..... 67

Tabela 21 - Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto de referência (CRE) 69
Tabela 22 - Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto reciclado com 50% de substituição de agregado natural pelo reciclado..... 70
Tabela 23 - Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto reciclado com 100% de substituição de agregado natural pelo reciclado..... 70
Tabela 24 - Tabela esquemática da produção do concreto..... 71
Tabela 25 - Resumo de corpos de prova moldados por tipo de ensaio, para cada traço de concreto..... 71
Tabela 26 – Percentual em massa dos constituintes da amostra de resíduo da construção civil coletada em uma obra de Recife-PE..... 77
Tabela 27 - Composição granulométrica do agregado miúdo natural (AMN) e reciclado (AMR)..... 79
Tabela 28 - Composição granulométrica do agregado graúdo natural..... 80
Tabela 29 – Teor de material pulverulento do agregado miúdo natural e reciclado e graúdo natural..... 82
Tabela 30 - Resultado de massa específica e massa unitária dos agregados utilizados na pesquisa..... 82
Tabela 31 - Resultados dos valores de absorção dos agregados utilizados na pesquisa..... 83
Tabela 32 – Abatimento das famílias de concretos produzidas..... 88
Tabela 33 – Resultados de ensaio de resistência à compressão..... 91
Tabela 34 – Relação dos concretos estudados..... 91
Tabela 35 - Equações de dosagem – Resistência à compressão em função da relação a/c 99
Tabela 36 - Equações de dosagem – teor de agregados secos (m) em função da relação a/c; equações de dosagem teor de agregados secos (m) em função do consumo de cimento..... 100
Tabela 37 - Equações de dosagem do módulo de deformação em função da relação a/c. 102
Tabela 38 - Equações de dosagem do módulo de deformação do concreto - teor de agregados secos em função da relação a/c – consumo de cimento em função do teor de agregados secos..... 102

Tabela 39 - – Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se a resistência a compressão fc28 = 30 MPa..... 103
Tabela 40 - Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se a relação a/c = 0,6..... 104
Tabela 41 - Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se o consumo de cimento C_{cim} = 350 kg/m³..... 105

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 18

1.1 OBJETIVOS..... 19

1.1.1 Objetivos gerais..... 19

1.1.2 Objetivos específicos..... 20

1.2 METODOLOGIA..... 20

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... 21

2. RECICLAGEM DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)..... 23

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... 23

2.2 COMPOSIÇÃO..... 26

2.3 PROPRIEDADES DO AGREGADO RECICLADO DE RCC..... 31

2.3.1 Composição granulométrica..... 32

2.3.2 Teor de material pulverulento..... 38

2.3.3 Massa específica 40

2.3.4 Absorção de água..... 42

2.4 DOSAGEM DO CONCRETO CONTENDO AGREGADO RECICLADO..... 46

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO..... 48

2.5.1 Concreto fresco..... 48

2.5.1.1 Trabalhabilidade e relação água-cimento..... 48

2.5.1.2 Massa específica..... 51

2.6.2 Concreto endurecido..... 53

2.6.2.1 Absorção..... 53

2.6.2.2 Resistência à compressão simples..... 54

2.6.2.3 Módulo de elasticidade..... 58

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL..... 61

3.1 COLETA DOS RESÍDUOS..... 62

3.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA..... 62

3.3 BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO..... 64

3.4 SELEÇÃO E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA..... 65

3.4.1 Agregados..... 65

3.4.2 Cimento..... 66

3.5 DOSAGEM EXPERIMENTAL..... 68

3.6 PREPARO, MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO..... 70

3.7 ENSAIOS REALIZADOS NO CONCRETO..... 72

3.7.1 Ensaios em concreto no estado fresco..... 72

3.7.1.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone..... 72

3.7.1.2Determinação da massa específica..... 73

3.7.2 Ensaios em concreto no estado endurecido..... 73

3.7.2.1 Determinação da absorção..... 74

3.7.2.2 Determinação da resistência à compressão..... 74

3.7.2.3 Determinação do módulo de elasticidade..... 75

3.8 DIAGRAMAS DE DOSAGEM PARA CONCRETOS..... 76

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS..... 77

4.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA..... 77

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA..... 78

4.2.1 Composição granulométrica..... 78

4.2.2 Teor de material pulverulento..... 81

4.2.3 Massa específica e massa unitária..... 82

4.2.4 Absorção de água dos agregados..... 83

4.3 ENSAIOS DO CONCRETO..... 84

4.3.1 Consumo de cimento e água dos concretos estudados..... 84

4.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO..... 85

4.4.1 Abatimento..... 85

4.4.2 Massa específica..... 88

4.5 ENSAIO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO..... 89

4.5.1 Absorção de água..... 89

4.5.2 Resistência à compressão..... 91

4.5.3 Módulo de elasticidade..... 95

4.6 DIAGRAMAS..... 97

4.6.1 Análise de propriedades dos concretos estudados 102

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 106

REFERÊNCIAS..... 110

1. INTRODUÇÃO

A cadeia da construção civil, atualmente, é um dos principais setores da economia brasileira. Há registros do aumento da parcela correspondente a construção civil no PIB nacional desde 1995. De acordo com o Departamento Intersindical de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos - (DIEESE, 2009), o crescimento da ocupação na construção civil no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro nos primeiros meses de 2009 foi de 11,9%, se comparado ao mesmo período em 2008. Somente em 2009, no Brasil, o setor foi responsável por 12,2% do PIB, sendo a construção pesada e edificação correspondente a 8,3% desta parcela (FIESP, 2010).

Apesar de todo o desenvolvimento proporcionado pelo setor, a Indústria da Construção Civil provoca grandes impactos pelo alto consumo de matérias primas e a grande quantidade de Resíduo de Construção Civil (RCC) despejada no meio ambiente diariamente.

Zordan (1997) menciona que esse alto consumo de recursos naturais está ligado às taxas de geração de resíduos de construção e demolição, à vida útil das estruturas construídas, às necessidades de manutenção e reparos, às perdas incorporadas nos empreendimentos, além das tecnologias empregadas nas construções.

Segundo John (2000) a cadeia produtiva da construção civil é a maior consumidora de recursos naturais de qualquer economia, uma vez que produz os bens de maiores dimensões do planeta.

A falta de matéria prima ocasionado pelo grande número de construções já é uma problemática presente na cadeia. Uma pesquisa realizada em 2009 pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) avaliou os principais problemas apontados por firmas de construção civil, e a falta de matéria prima ocupou o nono lugar deste ranking, representando 11,5 % dos votos, e o alto custo da matéria prima ocupou o décimo primeiro com 10,2% dos votos (FIESP, 2010).

Estudos desenvolvidos por Pinto (1999) registram que os resíduos oriundos das atividades construtivas chegam a representar de 41 a 70% dos resíduos produzidos em meios urbanos brasileiros.

Na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, são geradas aproximadamente 4.000 toneladas de RCC por dia, e 554 toneladas desses resíduos são depositados irregularmente. Somente no ano de 2004, cerca de 350.000 toneladas de RCC foram depositados clandestinamente na Cidade do Recife, sendo este tipo de deposição responsável por diversos impactos ambientais negativos e com influência direta na qualidade de vida da população (CARNEIRO, 2005).

O grande volume de resíduos gerado não traz impactos apenas ambientais e sociais, mas econômicos. Somente na cidade do Recife há um custo anual da ordem de R$ 4,5 milhões com coleta de resíduos volumosos e entulho dispostos de modo irregular em locais públicos, e estima-se que 1/3 desses resíduos sejam RCC (GUSMÃO, 2008).

A necessidade de alternativas para a reutilização do RCC é indispensável a todo o setor, atingindo não só questão a ambiental, mas também econômica e social. Assim, visando diminuir os impactos causados pelo setor, várias pesquisas (ZORDAN, 1997; LEVY, 1997; ANGULO, 2000; JOHN, 2000; MIRANDA, 2000; LEVY, 2001; LEITE, 2001, CARNEIRO, 2005; BUTTLER, 2007; BERNHOEFT, 2010; LIRA Jr., 2010) vêm sendo desenvolvidas a fim de minimizar a geração e incentivar o reaproveitamento e reciclagem dos resíduos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a utilização de resíduos da construção civil como agregado miúdo reciclado, com substituição total ou parcial do agregado natural, para a produção de concretos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa estudo foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- avaliar propriedades físicas dos agregados reciclados de RCC, por meio de ensaios de caracterização, confrontado os resultados com as especificações da norma brasileira para agregados naturais e com dados da literatura;

- avaliar a influência e teor de substituição dos agregados naturais por reciclados nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido;

- comparar o desempenho do concreto produzido com agregado reciclado de RCC investigados com o concreto confeccionado com agregados naturais e com dados da literatura sobre concreto com agregado reciclado de RCC;

1.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a consecução dos objetivos constou de forma resumida dos seguintes itens:

i) revisão bibliográfica sobre os temas envolvidos, reunindo informações de publicações nacionais e internacionais, e também informações de relatórios técnicos;

ii) coleta de uma amostra de RCC em um empreendimento, em etapa de estrutura, construído na cidade de Recife-PE;

iii) caracterização da amostra de RCC coletada por meio de separação táctil-visual dos seus constituintes das amostras e beneficiamento, utilizando um britador de mandíbulas, com o intuito de reduzir o tamanho das partículas, para o uso como agregado miúdo reciclado;

iv) realização de ensaios de caracterização nas amostras dos agregados miúdo natural e reciclado, e agregado graúdo natural utilizado durante a pesquisa, para descrição das suas propriedades;

v) estudo de dosagem experimental do concreto de referência e reciclado, com teores de substituição de 50 e 100%, através do método IBRACON (MEHTA & MONTEIRO, 2008);

vi) realização de ensaios laboratoriais, tais como massa específica, abatimento, absorção de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, para conhecer as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido;

vii) elaboração dos diagramas de dosagem das famílias de concreto confeccionadas;

viii) análise e interpretação dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do Trabalho

A apresentação da pesquisa está dividida em cinco capítulos.

Uma breve introdução, bem como objetivos, metodologia e estrutura da pesquisa, são apresentados no capítulo 1.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os resíduos da construção civil, além de uma abordagem sobre as pesquisas relacionadas com o uso de RCC, focando na utilização de agregados reciclados de RCC para a produção de concreto.

O Capítulo 3 descreve o programa experimental da pesquisa, onde são apresentados os critérios e métodos utilizados para realização do estudo.

No quarto capítulo são expostos os resultados obtidos por meio dos ensaios de caracterização e uma discussão a respeito dos resultados dos ensaios das propriedades

do concreto no estado fresco e endurecido, realizando uma comparação com os resultados obtidos em pesquisas anteriores.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões a respeito dos resultados encontrados durante a pesquisa e algumas sugestões para futuros trabalhos.

2. RECICLAGEM DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A problemática no que diz respeito aos impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelos elevados índices de geração de resíduos provindos da indústria da construção civil é um tema bastante discutido. De acordo com um levantamento realizado pela associação brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais (ABRELPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o índice de coleta de resíduos em 2010 apresentou um aumento de 8,7% em relação ao ano de 2009, e somente em 2010 mais de 99 mil t/dia de RCC foram coletados no país (ABRELPE, 2010). A Tabela 1 apresenta a quantidade de resíduo da construção civil coletada no Brasil nos anos de 2009 e 2010.

Tabela 1 – Quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2009 e 2010 (ABRELPE, 2010).

Região	2009	2010		
	RCC coletado (t/dia)/ Índice (kg/hab/dia)	População urbana (hab)	RCC coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
Norte	3.405 / 0,297	11.663.184	3.514	0,301
Nordeste	15.663 / 0,412	38.816.895	17.995	0,464
Centro-Oeste	10.997 / 0,918	12.479.872	11.525	0,923
Sudeste	46.990 / 0,632	74.661.877	51.582	0,691
Sul	14.389 / 0,630	23.257.880	14.738	0,634
Brasil	91.444 / 0,576	160.879.708	99.354	0,618

Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no Brasil (ZORDAN 1997; LEVY, 1997; JOHN, 2000; MIRANDA, 2000; LEITE, 2001; LEVY, 2001; SOUSA, 2001; ANGULO, 2005; CARNEIRO, 2005; GOUVEIA, 2006; CABRAL, 2007; BARBOSA, 2009, GRUBA, 2009; MARQUES NETO, 2009; BERNHOEFT, 2010; LIRA Jr., 2010) com o intuito do reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos da construção civil.

Miranda (2000) analisou as propriedades de argamassas produzidas com agregados reciclados de RCC, onde ensaios laboratoriais foram conduzidos com o intuito de identificar os principais fatores influentes na fissuração das argamassas, no sentido de avaliar o desempenho quanto à fissuração, absorção de água por capilaridade e resistência a aderência à tração. Os resultados indicaram que os agregados reciclados de Resíduos da Construção Civil podem ser utilizados para a produção de revestimentos em argamassa cimento Portland, obtendo-se um bom acabamento superficial, resistência de aderência à tração e baixos níveis de fissuração, controlando, porém, o teor de finos, para se evitar o refinamento dos poros.

Uma análise a respeito da influência da utilização de agregados reciclados Resíduos da Construção Civil para a produção de blocos de concreto foi realizada por Sousa (2001), considerando parâmetros tais como: tempo de adensamento, consistência de moldagem, composição granulométrica dos agregados e proporção cimento: agregado. Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm e blocos de concreto 10 x 19 x 39 cm. Os resultados apontaram que a resistência à compressão é influenciada pela quantidade de resíduo na composição. Conclui que, no geral, há a potencialidade de utilização do entulho reciclado na produção dos blocos de concreto. Entretanto, o autor ressalta a necessidade de estudos complementares que avaliem o desempenho, de tais blocos, ao longo do tempo.

Durante sua pesquisa, Carneiro (2005) analisou blocos de concreto de vedação com 30% e 60% de substituição de agregado natural por reciclado de RCC com o intuito de avaliar a resistência à compressão dos mesmos à utilização deste material. Os resultados apontaram que os blocos confeccionados com agregados reciclados apresentaram resistência superior aos confeccionados com agregados naturais. Porém, alguns blocos apresentaram valores de absorção de água superiores ao especificado pelas normas técnicas. Segundo a autora, foi comprovada a viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados de RCC para a produção de blocos de concreto, desde que se atenda aos requisitos normalizados.

Um estudo realizado por Gruba (2009) analisou as propriedades físicas e comportamento mecânico, através de ensaios laboratoriais, do agregado reciclado de concreto proveniente da Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil de São Carlos-SP, visando o seu emprego nas camadas de base e sub-base de pavimentos. Foram realizados ensaios de caracterização física, lixiviação, solubilização, compactação, índice de Suporte Califórnia

(CBR), compressão simples, compressão diametral e triaxial cíclico. Concluindo que o agregado reciclado de concreto, em comparação ao agregado natural, apresenta maior absorção de água, menor densidade aparente e maior desgaste ao ensaio de abrasão Los Angeles. Apresenta também um elevado valor de CBR, 182%, superior aos limites de 20% e 60% exigidos pela NBR 15115 (ABNT, 2004), além disso, apresenta-se superior ao concreto confeccionado com agregado natural. Os valores de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e módulo de resiliência da amostra, não sofreram alterações com a adição do agregado reciclado ao solo. O autor concluiu que o agregado reciclado pode ser empregado na construção de camadas de sub-base e base de pavimentos.

Bernhoeft (2010) analisou propriedades físicas e mecânicas de argamassas com gesso reciclado, onde realizou adições de resíduo de gesso nas proporções 5 e 10% em misturas de argamassas. Concluiu que as argamassas recicladas apresentaram diminuição no tempo de pega, contudo apresentando pequena interferência na resistência a aderência do material.

O desempenho de estacas de compactação com utilização de resíduo da construção civil foi estudado por Lira Jr (2010). Durante a pesquisa foram analisadas propriedades do RCC através de ensaios laboratoriais e de campo, onde foram realizadas sondagens a percussão e provas de carga sobre placa. Os resultados apontaram que tanto os ensaios realizados em laboratório quanto em loco, que o material reciclado apresentou-se não só satisfatório, mas superior ao agregado comumente utilizado em estacas de compactação.

Há inúmeras vantagens quando se trata de reutilização e reciclagem de RCC, economicamente falando. Os agregados reciclados podem se tornar como fonte de diminuição de despesas (gerenciamento de resíduos, custos de transporte, taxas e multas) e faturamento. No aspecto ambiental, com a utilização dos agregados reciclados diminuí-se a exploração de recursos naturais, os impactos causados pelos RCC por depósitos em locais inadequados, desafogando os aterros. Além de benefícios econômicos e ambientais, os RCC também trazem benefícios sociais, pois a reutilização e reciclagem dos resíduos são uma fonte de geração de empregos (CARNEIRO et al., 2001; USLEN, 2006; SANTOS, 2007).

2.2 COMPOSIÇÃO

A composição dos resíduos gerados em atividades da indústria da construção civil como escavações, demolições, construções, reparos, manutenções e limpeza de terrenos é muito variável, isto se deve à diversidade de tecnologias construtivas utilizadas na indústria da construção civil (PINTO, 1999). Esta variabilidade pode ser observada entre países, regiões, estados, cidades e em alguns casos específicos, até bairros de uma mesma cidade (CARNEIRO, 2005). Segundo Zordan (2000) o resíduo da construção e demolição talvez seja um dos mais heterogêneos de todos os resíduos industriais e que a sua composição química está intimamente ligada aos materiais que o compõe.

Em um estudo realizado em Ribeirão Preto-SP por Zordan (1997), foi analisado qualitativamente o RCC coletado em uma usina de reciclagem localizada na mesma cidade. Verificou-se uma variabilidade dos materiais presentes na amostra, onde se observou a predominância de argamassa (36%) em sua constituição, seguido por concreto (21%) e cerâmica (21%), conforme Figura 1.

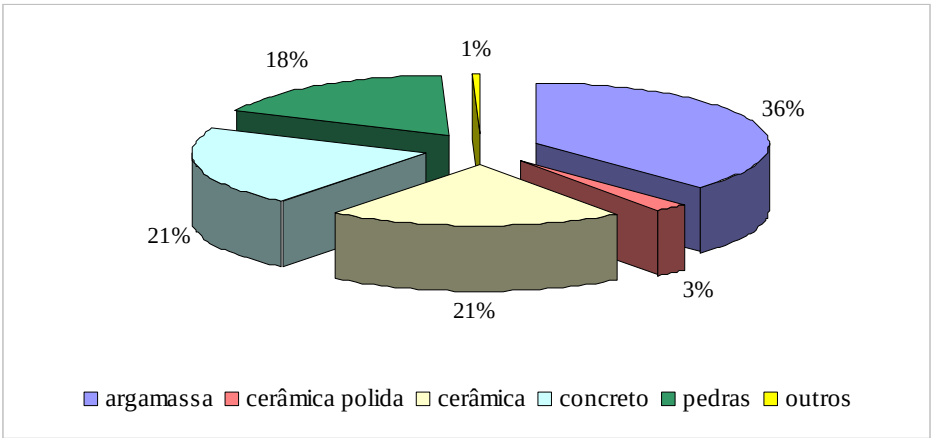


Figura 1 – Porcentagem média dos constituintes da amostra de RCC analisada (ZORDAN, 1997).

Leite (2001) analisou uma amostra de RCC coletada em um aterro de inertes em Porto Alegre – RS, onde verificou a importante presença de rochas naturais (31%), material cerâmico (28%) e argamassa (28%) na constituição do RCC, conforme Figura 2.

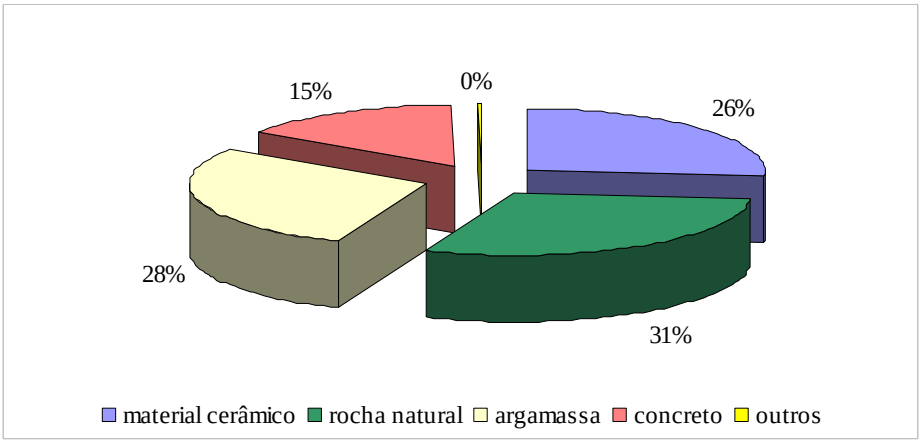


Figura 2 – Distribuição média dos resíduos de construção civil coletados em um aterro de inertes da cidade de Porto Alegre – RS (LEITE, 2001).

Um estudo realizado por Vieira & Molin (2004), analisou a composição gravimétrica de uma amostra resíduo da construção civil coletado na cidade de Maceió-AL. O RCC apresentou um elevado percentual material cerâmico (cerâmica vermelha) em sua composição (48%), seguido de resíduos de argamassa (28%) e concreto (19%), além de outros materiais em menores percentuais, conforme Figura 3.

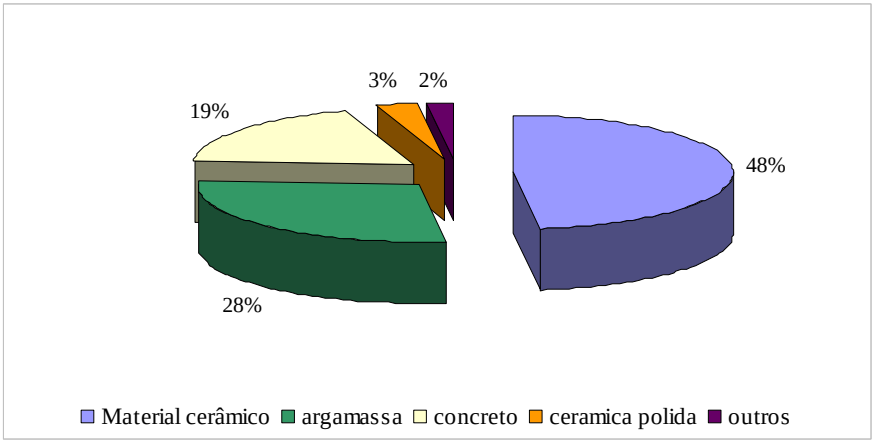


Figura 3 – Composição do resíduo utilizado proveniente da cidade de Maceió – AL (VIERIA & MOLIN, 2004).

Na Região Metropolitana do Recife, estudos realizados por Carneiro (2005) apontam que 91% do resíduo da construção civil gerado é classificado, segundo a RESOLUÇÃO CONAMA nº 307 (2002), como reutilizável ou reciclável, apresentando um baixo percentual de contaminantes. Verifica-se também uma heterogeneidade em sua composição, conforme Figura 4.

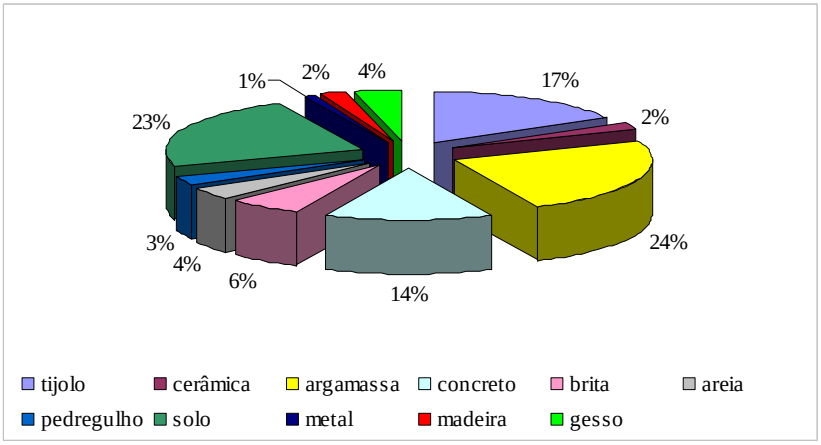


Figura 4 – Composição da amostra de RCC proveniente da cidade de Recife-PE (CARNEIRO, 2005)

Em Uberlândia-MG, Moraes (2006) realizou um estudo no que diz respeito à composição gravimétrica de uma amostra de RCC coletada na região. Observou que a maior parte do material analisado era composta por concreto (38%), conforme Figura 5.

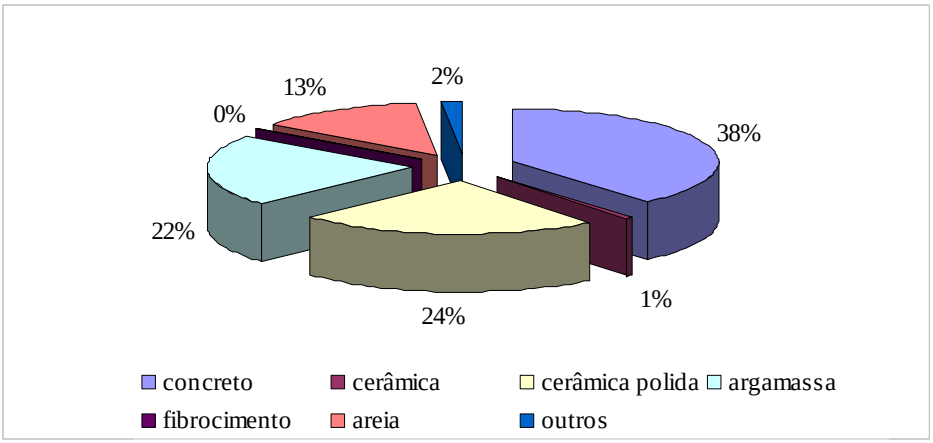


Figura 5 – Composição gravimétrica de RCC proveniente de Uberlândia-MG (MORAIS, 2006)

O resíduo da construção civil coletado em uma edificação residencial na cidade de Goiânia-GO foi analisado por Nunes (2007). Neste sentido, o material foi classificado em 4 grupos: fragmentos de pasta de cimento (grupo 1), fragmentos de rochas (grupo 2), fragmentos de material cerâmico (grupo 3) e outros, onde se enquadram materiais tais como, orgânicos, plástico, madeira, metal, vidros e gesso. (grupo 4), O autor constatou que a maior parte da amostra era composta por materiais cimentícios, conforme Figura 6.

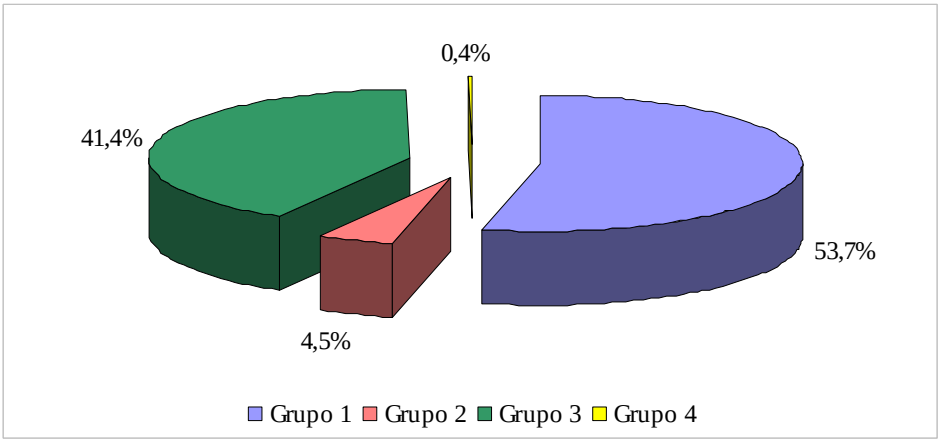


Figura 6 – Composição da amostra de RCC coletada em Goiânia-GO (NUNES, 2007)

Um estudo realizado por Tavares & Dias (2008) revelou a presença predominante de material cerâmico (55%) no resíduo da construção civil proveniente da cidade de Ituiutaba - MG, conforme Figura 7.

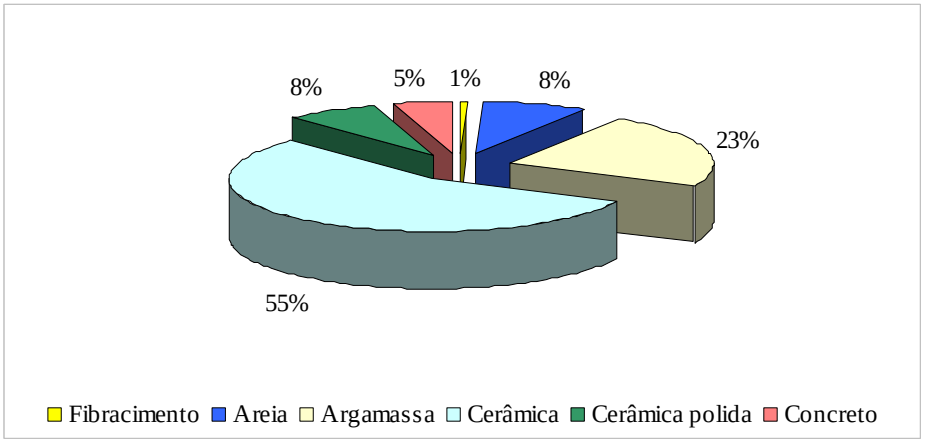


Figura 7 – Composição do RCC de Ituiutaba - MG (TAVARES & DIAS, 2008).

Em um estudo realizado em Passo Fundo-RS por Bernardes et al. (2008), verificou-se que o resíduo da construção civil gerado na cidade apresentou predominantemente resíduo classe A em sua composição (95%), apresentando também grande variabilidade de materiais constituintes em sua composição (Tabela 2), sendo a argamassa e tijolos cerâmicos os materiais com maior representatividade, com 30 e 24 % em massa, respectivamente.

Tabela 2 – Características e classificação do RCC proveniente de Passo Fundo (BERNARDES et al., 2008).

Resíduo	% (em massa)	Classificação – Resolução nº 307 CONAMA (2002)
Argamassa	29,7	A
Cerâmica	2,8	A
Concreto	13,8	A
Finos argamassa	7,7	A
Finos tijolos	1,9	A
Gesso	2,4	C
Madeira	2,1	B
Material orgânico	0,1	B
Material retido	12,6	A
Metal	0,3	B
Plástico, papel, tecido	0,6	B
Pedras	1,1	A
Terra bruta	0,7	A
Tijolo	24,1	A
Totais	100	-

Verifica-se que em grande parte das pesquisas realizadas no Brasil há a grande ocorrência de material cerâmico, argamassa na composição do resíduo. Segundo Leite (2001) tais índices estão muito atrelados ao tipo de construção, técnicas e insumos construtivos utilizados no setor. Verifica-se na Figura 8 em um levantamento realizado em Taiwan, China, que os índices mais significativos são compostos de concreto.

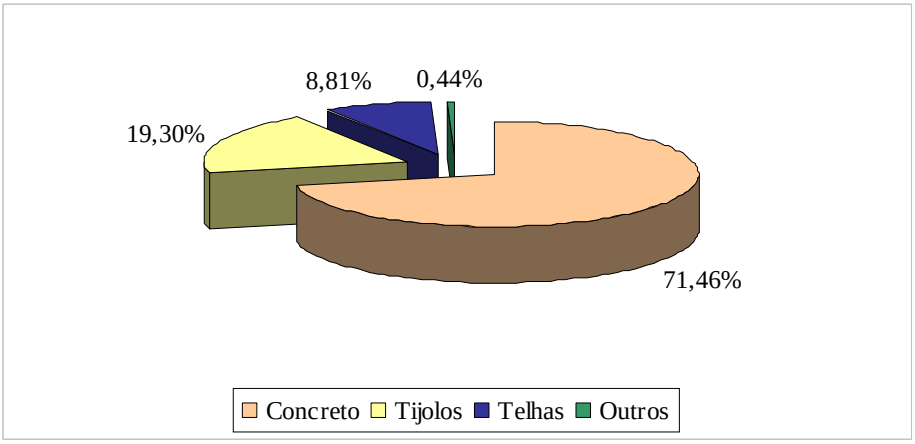


Figura 8 – Composição média de resíduos provenientes de Taiwan (JI CHEM et al, 2003).

Para melhor comparação entres o diferentes resultados encontrados nas pesquisas, elaborou-se uma tabela resumo (Tabela 3), onde pode-se verificar a grande variabilidade de materiais presentes nos resíduos da construção civil nas cidades brasileiras.

Tabela 3 – Resumos dos resultados encontrados para composição gravimétrica em diferentes pesquisas.

Material	Ribeirão Preto-SP	Porto Alegre-RS	Maceió AL	Recife PE	Uberlândia MG	Ituiutaba MG	Passo Fundo-RS	Taiwan China
Argamassa	36%	28%	28%	24%	22%	53,7%	23%	-
Cerâmica polida	3%	-	3%	-	24%	-	8%	-
Cerâmica	21%	26%	48%	19%	-	41,4%	53%	28,11%
Concreto	21%	15%	19%	14%	38%	-	5%	71,46%
Pedras	18%	31%	-	9%	-	4,5%	-	-
Areia	-	-	-	4%	13%	-	8%	-
Solo	-	-	-	23%	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	4%	-	-	-	-
Madeira	-	-	-	2%	-	-	-	-
Metal	-	-	-	1%	-	-	-	-
Fibrocimento	-	-	-	-	1%	-	1%	-
Outros	1%	-	2%	-	2%	0,4%	-	0,44%

Para a utilização do RCC como um novo material na construção civil, torna-se extremamente importante o estudo das propriedades dos agregados reciclados de RCC, devido a grande homogeneidade instrinseca deste material.

2.3 PROPRIEDADES DO AGREGADO RECICLADO DE RCC

Os agregados têm grande influência nas propriedades de concretos e argamassas. Segundo Neville (1997), os agregados utilizados para a fabricação de concreto exercem influencia na sua qualidade, pois pelo menos ¾ partes do seu volume é ocupado pelos agregados, influenciando não apenas na resistência, mas podendo também comprometer a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto.

Os agregados reciclados de RCC deixaram de ter um papel apenas econômico na composição de concretos e argamassas. Eles podem influenciar não só na trabalhabilidade, como também nas suas propriedades físicas, mecânicas e durabilidade. Contudo, os elevados teores de argamassa, contaminantes, materiais pulverulentos, absorção de água e massa específica são uns dos inconvenientes na utilização de agregado reciclado como novo material (ANGULO, 2000; LEITE, 2001).

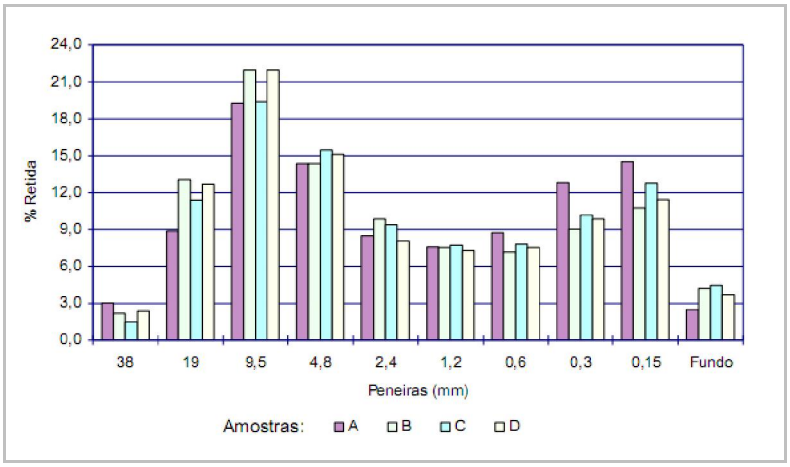
Neste item serão discutidas algumas propriedades dos agregados reciclados de RCC, tais como composição granulométrica, teor de material pulverulento, massa específica e absorção de água.

2.3.1 Composição granulométrica

A granulometria dos agregados tem importante influência nas características do concreto, tais como o consumo de aglomerante, trabalhabilidade, compacidade, absorção a água, permeabilidade, resistência mecânica, entre outras. (HELENE & TERZIAN, 1993; BARRA, 1996; LIMA, 1999).

No caso dos agregados reciclados, a granulometria pode variar de acordo com diversos fatores, tais como o seu processo produtivo, as características granulométricas do resíduo antes do processado da britagem, a origem do material, entre outros. Assim, a curva granulométrica é característica específica de cada tipo particular de resíduo reciclado (BARRA, 1996; LIMA, 1999).

Zordan (1997) realizou uma análise em um material reciclado proveniente de uma usina de reciclagem da cidade de Ribeirão Preto-SP, onde constatou que cerca de 50% do material era passante na peneira # 4,8 mm, sendo que grande parte desta fração (cerca de 30%) está concentrada entre as peneiras de # 0,15 mm e # 0,3 mm, e em média 90% dos agregados graúdos estão entre as faixas de # 4,8 a # 19 mm, conforme Figura 9. A grande quantidade de material fino encontrada pode ser atribuída à natureza do resíduo, predominantemente cerâmica e argamassa.



Amostras A, B, C E D: amostras de resíduo coletadas em 4 (quatro) dias distintos

Figura 9 – Porcentagem de entulho retido nas peneiras de série normal (ZORDAN, 1997).

Miranda (2000) analisou a granulometria de resíduo de blocos cerâmicos, blocos de concreto e argamassa, triturados em um moinho de uma argamassadeira em duas etapas distintas. Na primeira foram colocados 50 kg de material por vez e na segunda 90 kg. Concluiu que o processo produtivo dos materiais pode ter influência na granulometria do agregado, pois todos os materiais provenientes da segunda moagem apresentaram granulometria mais grossa. Este fato pode ser atribuído tanto a quantidade de material utilizado durante cada moagem, como ao desconhecimento da repetitividade do equipamento.

Leite (2001) realizou estudos em uma amostra de resíduo coletada em um aterro de inertes da cidade de Porto Alegre - RS. Após análises, concluiu que o agregado miúdo e graúdo reciclado evidenciou um material com granulometria contínua, aspecto considerado positivo para produção de concretos devido ao melhor arranjo existente entre as partículas. Constatou também, que o agregado miúdo reciclado apresentou um teor de finos cerca de 20 vezes maior que o agregado miúdo natural, enquanto que o agregado graúdo reciclado apresentou módulo de finura um pouco menor que o natural. As Figuras 10 e 11 apresentam as curvas granulométricas dos agregados miúdos e graúdos utilizados.

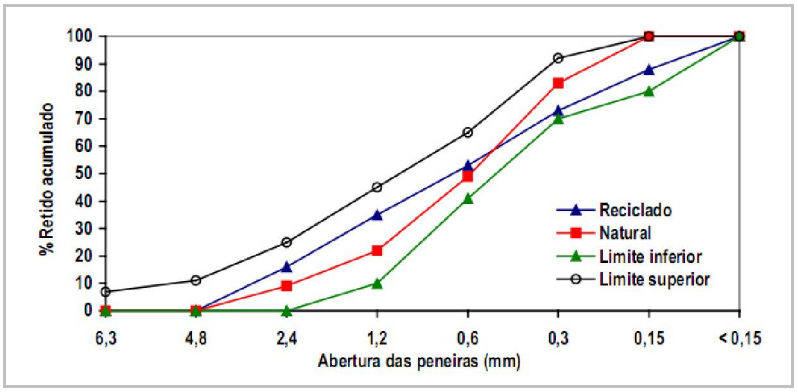


Figura 10 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural e reciclado (LEITE, 2001)

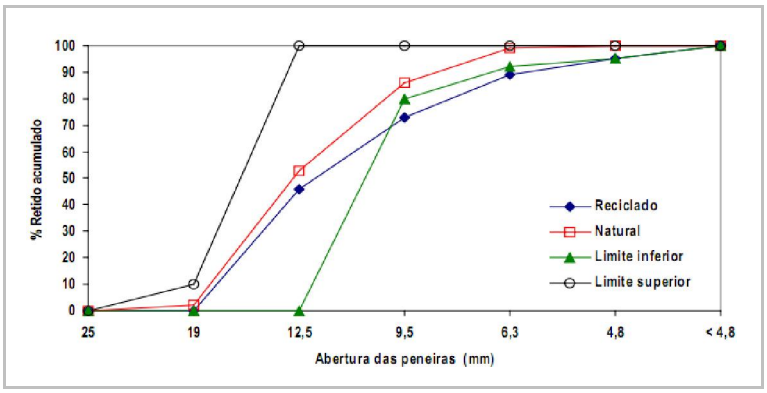
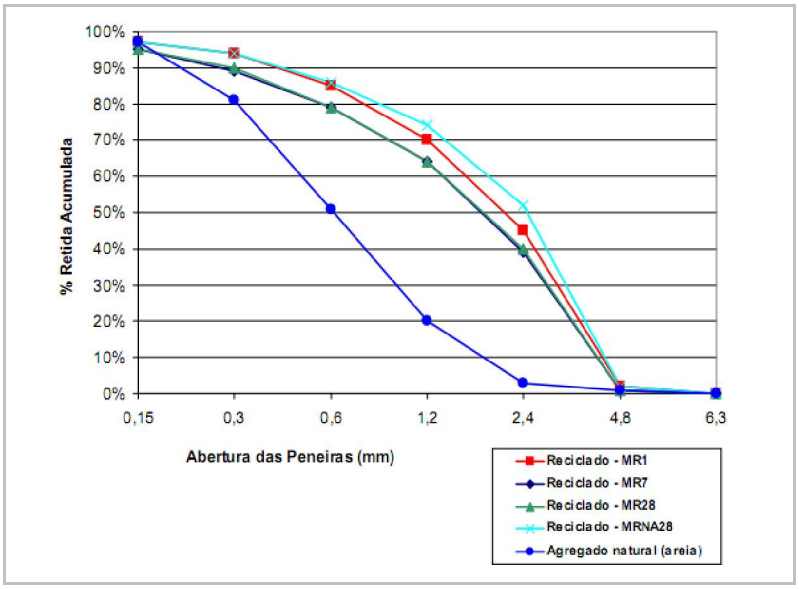
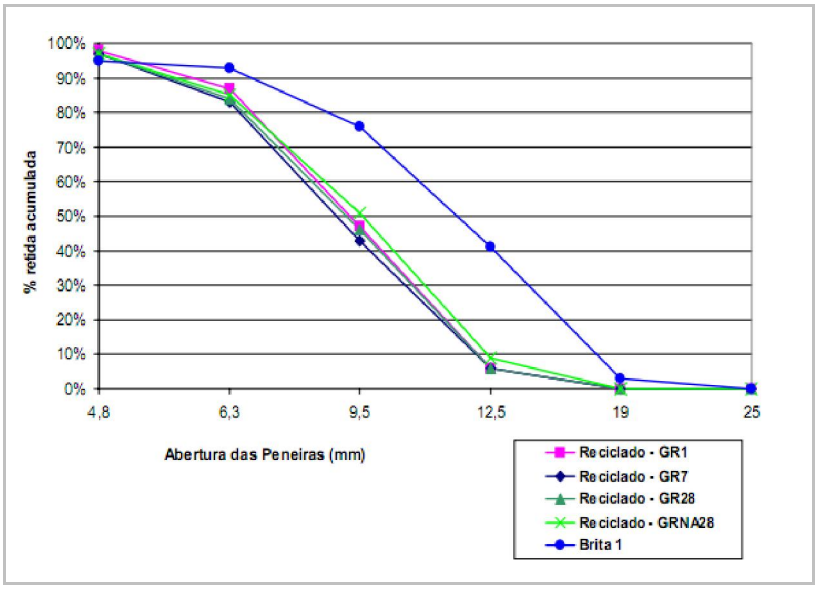


Figura 11 – Curva granulométrica do agregado graúdo natural e reciclado (LEITE, 2001).

Buttler (2003) utilizou agregados miúdos e graúdos reciclados de um material proveniente do resíduo do concreto de referência utilizado durante a pesquisa. Foram confeccionados quatro tipos de agregados (graúdo e miúdo), classificados de acordo com a idade do concreto de referência, onde o resíduo foi triturado quando o concreto de referência atingiu 1, 7, 28 dias de idade, sendo que aos 28 dias havia uma amostra adensada e outra não adensada. Os agregados miúdos apresentaram características semelhantes, com diâmetro máximo de # 4,8 mm, contudo observou que os agregados miúdos reciclados possuíam dimensões de partículas maiores que o natural. No que diz respeito ao agregado graúdo reciclado, o autor observou que houve a redução das partículas comparando-se com o agregado graúdo natural. Concluiu que as características granulométricas do material foram influenciadas pela abertura e mandíbula do britador utilizado durante a pesquisa, e ainda, que a idade dos corpos de prova não influenciou na granulometria dos agregados. As Figuras 12 e 13 apresentam as curvas granulométricas dos agregados miúdos e graúdos, respectivamente.



MR1, MR7, MR28: agregado miúdo reciclado confeccionado com concreto com 1, 7, 28 dias de idade respectivamente. MRNA 28: agregado miúdo reciclado confeccionado com concreto com 28 dias de idade não adensado.
Figura 12 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos (BUTTLER, 2003).



GR1, GR7, GR28: agregado graúdo reciclado confeccionado com concreto com 1, 7, 28 dias de idade respectivamente. GRNA 28: agregado graúdo reciclado confeccionado com concreto com 28 dias de idade não adensado.
Figura 13 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos (BUTTLER, 2003).

Vieira (2003) encontrou resultados semelhantes a Leite (2001), ou seja, os agregados reciclados investigados apresentaram granulometria contínua. Segundo o autor, a semelhança pode ser atribuída à forma de coleta e britagem dos materiais utilizados.

Na região metropolitana de São Paulo, Angulo (2005) analisou amostras provenientes de duas usinas de reciclagem localizadas na região. Observou que nas amostras provenientes da usina de Itaquera as frações maiores que # 25,4 mm representam aproximadamente 20% em massa, já para as amostras coletadas na usina de vinhedo essa malha representa 45% em massa. A fração miúda dos materiais coletados (ambas usinas) representa cerca de 40% da massa dos agregados reciclados. A Figura 14 apresenta as curvas de análise granulométrica das amostras.

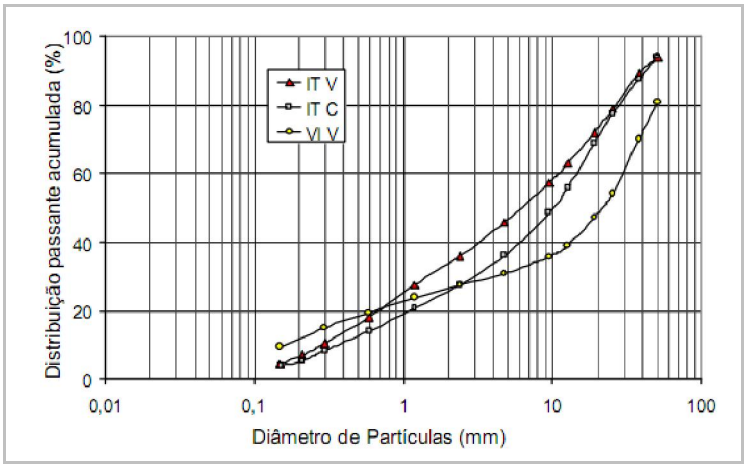


Figura 14 – Distribuição passante acumulada dos agregados reciclados de IT V (Itaquera vermelha), IT C (Itaquera cinza) e VI V (vinhedo vermelha) (ANGULO, 2005).

Duas amostras de resíduo da construção civil coletadas na cidade de Recife-PE foram caracterizadas por Carneiro (2005). Após análises conclui que o diâmetro máximo dos grãos obtido após o beneficiamento do material foi de 9,5 mm e módulo de finura igual a 4,84 mm. Analisando a Tabela 4, percebe-se que cerca de 50% do material é caracterizado encontra-se abaixo da faixa granulométrica de # 4,8 mm, ou seja, miúdo, a fração superior a essa malha está concentrada entre as peneiras # 9,5 mm e # 4,8 mm.

Tabela 4 – Composição granulométrica do agregado reciclado (CARNEIRO, 2005).

Abertura da peneira (mm)	**Material Retido**		**% que passa da amostra total**
	% amostra	**% acumulada**	
9,5	0	0	100
4,8	49,19	49,19	50,81
2,4	20,47	69,66	30,34
1,2	13,38	83,05	16,95
0,6	7,18	90,24	9,76
0,3	4,33	94,56	5,44
0,15	2,82	97,38	2,62
0,0075	1,2	98,58	1,42
Fundo	2,62	100	0

Carrijo (2005) estudou dois tipos de agregados graúdos reciclados de RCC, vermelho e cinza, provenientes de uma usina de reciclagem de Itaquera - SP, com o intuito de analisar se há

diferenças no comportamento mecânico dos concretos moldados com material cinza e vermelho. Em seguida, esses agregados foram separados por densidade em quatro intervalos (g/cm³): d< 1,9; 1,9<d<2,2; 2,2<d<2,5; d>2,5, conforme Tabela 5. Constatou que ambos os materiais apresentaram granulometria contínua e que à medida que o agregado reciclado se tornou mais denso a quantidade de material retido na peneira de 12,5 mm aumentou.

Tabela 5 – Porcentagem retida acumulada dos agregados graúdos nas peneiras (CARRIJO, 2005).

		Peneira (mm)					
Densidades	**Material**	**19**	**12,5**	**9,5**	**6,3**	**4,8**	**< 4,8**
D<1,9	Vermelho	0	64	93	97	98	100
	Cinza	0	52	91	98	98	100
1,9<d<2,2	Vermelho	0	67	97	100	100	100
	Cinza	0	72	98	100	100	100
2,2<d<2,5	Vermelho	1	82	99	100	100	100
	Cinza	1	78	99	100	100	100
d>2,5	Vermelho	0	81	99	100	100	100
	Cinza	0	79	99	100	100	100
Natural		2	38	76	99	99	100

Lovato (2007) analisou os agregados reciclados de resíduos da construção civil coletados em três cidades do Rio Grande do sul (São Leopoldo, Porto Alegre e Novo Hamburgo), a fim de verificar parâmetros de controle de variabilidade dos RCC. Observou que a maior parte dos agregados miúdos reciclados estava retida nas peneiras de malhas # 2,4 e 0,3 mm, além disso, destacou que os agregados reciclados apresentaram um percentual muito superior de material passante na peneira de malha # 0,15 mm. Observou ainda que os agregados graúdos reciclados não se encontravam na faixa granulométrica estabelecida pela NBR 7211(ABNT, 2005).

A granulometria dos agregados reciclados de RCC pode variar bastante de acordo com a origem dos materiais, o sistema construtivo da região e ainda os processos de beneficiamento. Sendo a composição granulométrica uma propriedade de extrema importância nas características do concreto, torna-se fundamental a sua análise em novos materiais.

2.3.2 Teor de material pulverulento

O excesso de finos nas misturas de concreto pode influenciar no aumento do consumo da água de amassamento necessária no momento de dosagem, provocando assim, a diminuição da sua resistência mecânica (COUTINHO, 1997).

Segundo Miranda (2000) os métodos tradicionais existentes para medição do teor de material pulverulento de agregados apresentam inconvenientes e possíveis erros, devido à dificuldade e demora no momento da lavagem do material, prejudicando a garantia de qualidade do ensaio.

No que diz respeito aos agregados reciclados de resíduo da construção civil, no geral apresentam valor de teor de material pulverulento superior ao agregado natural. Além disso, existe uma grande variabilidade no teor de material pulverulento encontrado na literatura.

Angulo (2000) avaliou a variabilidade do teor de materiais pulverulentos de agregados graúdos coletados em uma usina de reciclagem da cidade de São Paulo. Observou que os agregados graúdos apresentaram grande variabilidade deste parâmetro, na Figura 15 verifica-se que os agregados provenientes da mesma usina de reciclagem, apresentaram valores divergentes de teor de material pulverulento em função somente da hora em que foi coletado. Além disso, salienta que algumas amostras apresentaram valores superiores ao máximo permitido pela Rilem Recommendation (1994) de 3%.

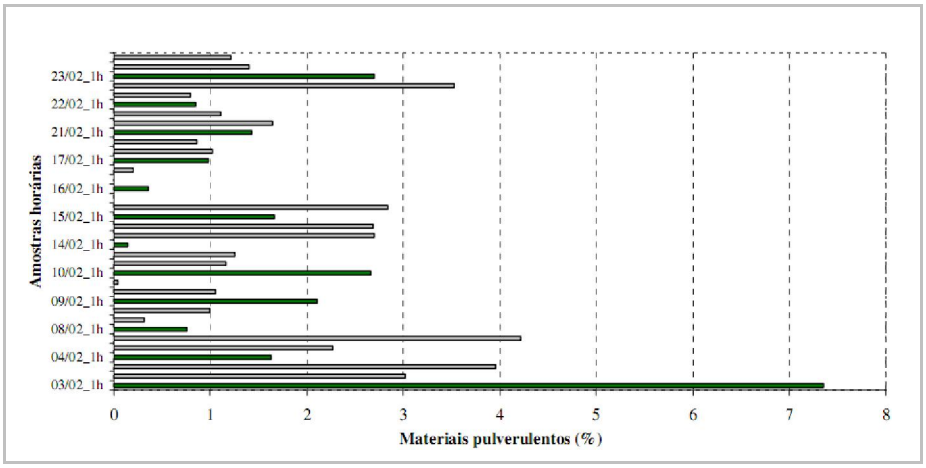


Figura 15 – Teores de material pulverulento para as amostras (ANGULO, 2000).

A Tabela 6 apresenta valores de teor de material pulverulento encontrados em pesquisas realizadas em diferentes cidades brasileiras.

Tabela 6 – Valores de teor de material pulverulento encontrado em diferentes pesquisas.

Teor de material pulverulento (%)	Granulometria	Origem	Cidade	Referência
14,23	< 9,6 mm	RCC	Brasília-GO	Sousa (2001)
13,17	<12,5mm	RCC	Santo André-SP	Oliveira (2002)
8,61	Miúdo	RCC*	Maceió-AL	Tenório (2007)
0,75	Graúdo	RCC*	Maceió-AL	Tenório (2007)
0,45	Graúdo	RCC + concreto	Maceió-AL	Tenório (2007)
6	<9,5mm	RCC	Recife-PE	Carneiro (2005)
4,77	<12,5mm	Blocos cerâmicos	Campinas-AL	Barbosa Jr (2008)
4,52	<12,5mm	Blocos de concreto	Campinas-SP	Barbosa Jr (2008)
7,89	<12,5mm	Corpos de prova de concreto	Campinas-SP	Barbosa Jr (2008)
10,4	Graúdo	RCC	Feira de Santana – BA	Leite e Lima (2009)
0,7	Miúdo	RCC	Feira de Santana – BA	Leite e Lima (2009)

* Amostras obtidas durante o desenvolvimento do projeto desentulho na cidade de Maceió

Os agregados reciclados em geral possuem teor de material pulverulento superior aos naturais, sendo este é um parâmetro que deve ser rigorosamente controlado, pois taxas elevadas podem ocasionar a fissuração de argamassas, aumento do fator água-cimento (a/c), diminuição da resistência à compressão e conseqüentemente queda da durabilidade. Observa-se também, que existe grande variabilidade nos valores encontrados nas pesquisas para este parâmetro, podendo ser conseqüência dos diferentes métodos utilizados para a medição, natureza do resíduo e ainda o britador utilizado para beneficiamento dos agregados.

2.3.3 Massa específica

Uma das principais características do agregado reciclado é que tanto a massa específica quanto a massa unitária apresentam valores um pouco menores que os apresentados pelos agregados naturais, e ainda, que a origem do material utilizado como agregado reciclado interfere no valor da massa específica, devido aos materiais antigos aderidos às partículas do agregado reciclado, como restos de argamassa (HANSEN, 1992; LEITE, 2001).

Leite (2001) em seu estudo de agregados miúdos e graúdos reciclados encontrou os valores de massa específica apresentados na Tabela 7. O autor observou que os agregados reciclados apresentaram massa específica menor que o agregado natural, representando uma redução de cerca de 4 % para a fração miúda e 19 % para a graúda.

Tabela 7 – Valores de massa específica dos agregados miúdos e graúdos reciclados (LEITE, 2001).

Agregado	Tipo de material	Massa específica (kg/dm³)
Graúdo	Natural	3,090
	Reciclado	2,510
Miúdo	Natural	2,632
	Reciclado	2,529

Vieira (2003) realizou um estudou de agregados miúdos e graúdos reciclados coletados na cidade de Maceió-Alagoas e encontrou os valores para massa específica apresentados na Tabela 8. O autor constatou que a massa específica do agregado miúdo reciclado é em torno de 4% menor em relação ao agregado miúdo natural e a variação da massa específica do agregado graúdo reciclado em relação ao natural ficou em torno de 7%.

Tabela 8 – Valores de massa específica de agregados reciclados coletados na cidade de Maceió - AL (VIEIRA, 2003).

Agregado	Tipo de material	Massa específica (kg/dm³)
Graúdo	Natural	2,70
	Reciclado	2,52
Miúdo	Natural	2,62
	Reciclado	2,51

A Tabela 9 apresenta valores de massa específica para diferentes pesquisas.

Tabela 9 – Valores de massa específica para diferentes estudos.

Massa específica (kg/dm³)	Granulometria	Origem	Cidade	Referência
2,39	Graúdo	RCC	Highett-Vic (Austrália)	Crentisil; Brown & Taylor (2001)
2,28	10-20mm	RCC	Puebla (México)	Soberón. (2002)
2,42	5-10mm	RCC	Puebla (México)	Soberón (2002)
2,17	5-0mm	RCC	Puebla (México)	Soberón (2002)
2,37	Graúdo	Demolição	Hong-Kong (Chinha)	Poon, Lam & Low (2004)
2,63	Graúdo	Cerâmico	Lisboa (Portugal)	Brito, Pereira & Correia (2004)
1,81	Graúdo	Telhas Cerâmicas	Monte Carlo-MG	Dias (2004)
2,02	Graúda	RCC	Recife-PE	Careiro (2005)
2,34	Miúda	RCC	Recife-PE	Carneiro (2005)
2,28	Miúdo	RCC	Ancona (Itália)	Sani et al. (2005)
2,35	Graúdo	RCC	Ancona (Itália)	Sani et al. (2005)
2,63	Miúdo	Obra em fase de estrutura	Recife-PE	Silva et al. (2008)
2,64	Miúdo	Obra em de alvenaria	Recife-PE	Silva et al. (2008)
2,39	Miúdo	RCC	Juazeiro –BA	Barbosa (2009)
2,63	Graúdo	Cerâmico	Campinas	Passos, Pinto Jr & Ramos (2009)
2,16	Miúdo	RCC	Lisboa (Portugal)	Evangelista & Brito (2010)

Verifica-se na Tabela 9 que a massa específica dos agregados reciclados comumente possui valores inferiores aos naturais. Carneiro (2005) encontrou valores de massa específica para os agregados reciclados até 30% menores comparado com os naturais, enquanto que Silva et al. (2008) obteve valores aproximadamente 5% inferiores. No caso de Barbosa (2009), obteve valores até 8% inferiores em relação ao agregado natural. Vale ressaltar que a inconstância entre valores os valores encontrados pode ser ocasionada pela grande variabilidade dos métodos de medição existentes, composição do material e quantidade de pasta aderida à superfície dos grãos.

Para a produção de concreto, este parâmetro possui grande importância, principalmente no momento da dosagem de concretos quando calculado em massa, pois como possui massa específica menor apresentará maior volume para um mesmo traço em massa.

2.3.4 Absorção de água

Uma das características que mais difere os agregados reciclados de RCC dos naturais é o alto teor de absorção de água. Vários fatores influenciam esta propriedade, como a composição do agregado, geralmente formado por materiais muito porosos (como argamassas e materiais cerâmicos), a maior quantidade de finos existente, a quantidade de argamassa aderida aos grãos, entre outros (LIMA, 1999; ZORDAN, 1997; ANGULO, 2000; MIRANDA, 2000; BUTTLER, 2003).

Alguns autores (HANSEN, 1992; BARRA, 1996; DESSY et al. 1998; LIMA, 1999; MACHADO JR et al., 2000; Sousa, 2001) afirmam que quanto menor a granulometria e maior a quantidade de argamassa aderida aos grãos, maior é a taxa de absorção dos agregados reciclados.

Ulsen (2006) afirma que a variação dos valores do teor de absorção das menores frações é superior aos grãos de maior diâmetro, chegando a variar cerca de 10% para a fração graúda e de 3,6 a 18,3%, em média, para a fração miúda.

As taxas de absorção também podem variar em função da origem do material utilizado, sendo os materiais cerâmicos os que apresentam os maiores valores. A Tabela 10 apresenta os valores de taxas de absorção encontrados por Levy (2001), o qual caracterizou agregados naturais e reciclados proveniente de resíduos cerâmicos e de concreto.

Tabela 10 – Taxas de absorção obtidas para agregados graúdos e miúdos (LEVY, 2001).

Taxas de absorção obtidas para agregados miúdos e graúdos (%)								
Naturais			**Alvenaria**			**Concreto**		
Areia	B_1	B_2	Areia	B_1	B_2	Areia	B_1	B_2
-	0,8	0,8	7,9	13,0	12,4	10,35	5,6	3,7

A influência da composição do resíduo da construção civil na absorção do agregado reciclado também foi verificada por Cabral (2007). Durante uma analise de três amostras de agregados reciclados de resíduo da construção civil, encontrou os valores de absorção mais elevadas para os materiais cerâmicos apresentaram as maiores taxas de absorção, devido à alta deste material. Já os agregados reciclados de concreto e argamassa apresentam valores intermediários, conforme Figura 16.

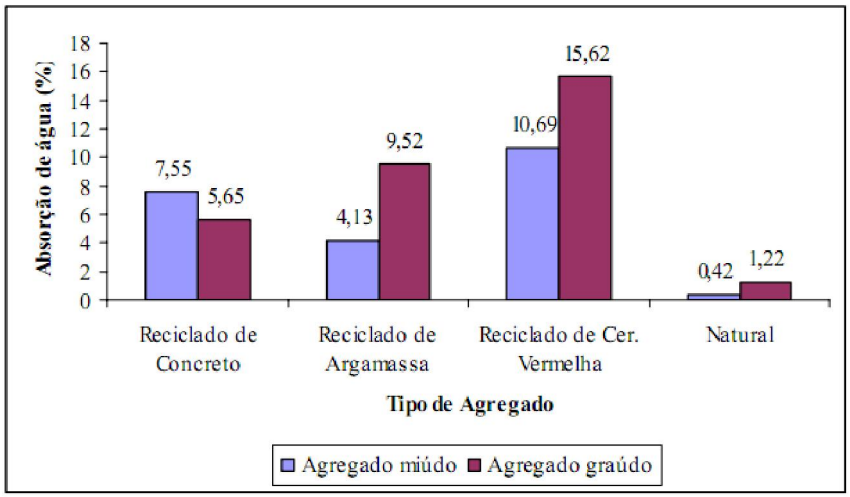
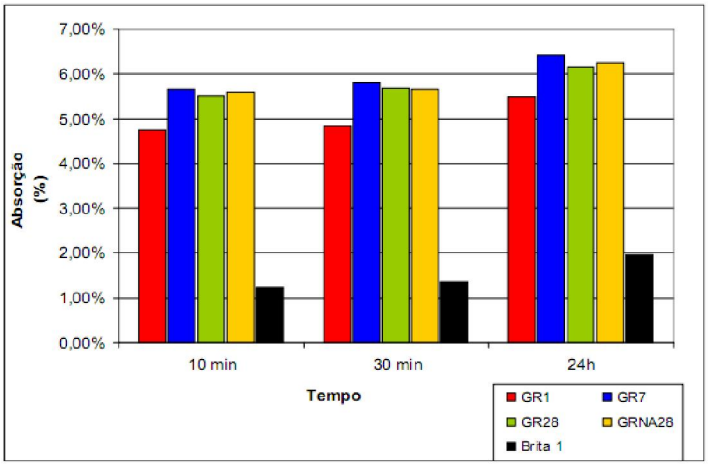


Figura 16 – Taxas de absorção de água das amostras coletadas (CABRAL, 2007).

Segundo Butler (2003) o grau de hidratação do material utilizado para a produção do agregado reciclado é outro fator que exerce influência na sua taxa de absorção. Enfatiza que quanto maior o grau de hidratação maior é a taxa de absorção do agregado. Ao analisar agregados reciclados provenientes de concretos, encontrou taxas de absorção para os agregados graúdos reciclados até três vezes superiores aos valores dos agregados naturais, e concluiu que a maior absorção, cerca de 90 %, ocorre nos primeiros dez minutos da realização do ensaio (Figura 15), enquanto que neste mesmo período o agregado natural apresentou 63 % de sua capacidade de absorção de água. De acordo com a Figura 17, o agregado graúdo reciclado de concreto rompido no 1º dia de idade (GR1) apresentou menor absorção de água (15 %) e índice de vazios (10%) que os demais agregados reciclados. Atribuiu este fato a menor quantidade de argamassa aderida ao agregado reciclado.



GR1, GR7, GR28: agregado graúdo reciclado confeccionado com concreto com 1, 7, 28 dias de idade respectivamente. GRNA 28: agregado graúdo reciclado confeccionado com concreto com 28 dias de idade não adensado.
Figura 17– Absorção dos agregados (BUTTLER, 2003).

Outro fator que também exerce influência na taxa de absorção dos agregados é a sua densidade, que é inversamente proporcional a este parâmetro, ou seja, quanto maior é a densidade dos grãos menor é a sua taxa de absorção. Carrijo (2005) avaliou a absorção dos agregados graúdos reciclados por faixas de densidade, conforme Tabela 11. Concluiu que a absorção variou em função dos intervalos de separação por densidade e não em função da natureza mineral (cinza e vermelho).

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de absorção dos agregados (CARRIJO, 2005).

Tipo de Agregado	Sigla	Densidades	Material	Absorção (%)
Graúdo	d_1	d < 1,9	Vermelho	15,32
			Cinza	14,65
	d_2	1,9 < d < 2,2	Vermelho	9,01
			Cinza	8,05
	d_3	2,2 < d < 2,5	Vermelho	2,84
			Cinza	2,03
	d_4	d > 2,5	Vermelho	1,4
			Cinza	1,51
	Natural			0
Miúdo	Natural			0

Leite (2007) encontrou valores de taxas de absorção de agregados reciclados, conforme na Tabela 12, analisando separadamente cada fração constituinte na amostra de resíduo coletada na cidade de Santo André retidos na peneira de # 4,8 mm.

Tabela 12 – Absorção dos grãos retidos na peneira # 4,8 mm do agregado reciclado de Santo André, de acordo com a natureza dos seus constituintes (LEITE, 2007).

Natureza do material	Concentração na amostra (%)	Absorção (%)
Cimentícios	55,3	11,5
Brita	11,8	3,8
Telhas/tijolos	15,9	20,7
Pisos/azulejos	13,5	11,1
Resíduos indesejáveis	3,5	18,4

O autor observou que materiais como telhas, tijolos, pisos, azulejos e cimentícios, apresentam absorção mais elevada comparado com britas. Ressalta a importância do conhecimento da composição do agregado, pois quanto maior o índice de materiais cerâmicos, mais poroso será o conjunto.

A Tabela 13 apresenta os valores de teor de absorção obtidos em diferentes pesquisas.

Tabela 13 – Valores de teor de absorção obtidos em diferentes pesquisas.

Absorção (%)	Granulometria	Origem	Cidade	Referência
5,6	Graúdo	RCC	Highett-Vic (Austrália)	Crentisil; Brown & Taylor (2001)
5,82	10-20mm	RCC	Puebla (México)	Soberón (2002)
6,8	5-10mm	RCC	Puebla (México)	Soberón (2002)
8,1	5-0mm	RCC	Puebla (México)	Soberón (2002)
11,08	Miúdo	Demolição	Maceió-AL	Vieira (2003)
6,04	Graúdo	Demolição	Maceió-AL	Vieira (2003)
6,28	Graúdo	Demolição	Hong-Kong (Chinha)	Poon, Lam & Low (2004)
17,5	Graúdo	Telha cerâmica	Monte Carmelo-MG	Fonseca (2006)
9,34	Miúdo	RCC	Maceió-AL	Tenório (2007)
8,41	Graúdo	RCC	Maceió-AL	Tenório (2007)
18,0	< 12,5	RCC	Campinas-SP	Barbosa Jr. (2008)
7,37	< 12,5	RCC	Campinas-SP	Barbosa Jr. (2008)
5,31	< 12,5	RCC	Campinas-SP	Barbosa Jr. (2008)
21,0	Miúdo	RCC	Feira de Santana-BA	Leite & Lima (2009)
11,3	Graúdo	RCC	Feira de Santana-BA	Leite & Lima (2009)
13,1	Miúdo	RCC	Lisboa (Portugal)	Evangelista & Brito (2010)

A Tabela 13 confirma os resultados mencionados anteriormente, o agregado reciclado apresenta elevadas taxas de absorção, sendo que na medida em que a granulometria do agregado aumenta, diminui o valor do teor de absorção dos agregados, chegando a atingir 21% (LEITE & LIMA, 2009). Verifica-se que materiais cerâmicos, como o resíduo de telha analisado por Fonseca (2006) apresentou um valor demasiadamente elevado para um

agregado graúdo (17,5%). É importante ressaltar ainda, que maior parte da absorção acontece nos primeiro 10 minutos do ensaio. Segundo Fonseca (2006) cerca de 90% da água foi absorvida nos primeiros três minutos do contato do material com a água. Tenório (2007) verificou que 40% da água total foi absorvida nos 10 minutos de imersão dos agregados reciclados estudados. No estudo realizado por Buttler este valor foi de 86% para os 10 minutos iniciais.

Neste sentido, a taxa de absorção de água é um parâmetro de grande importância para a produção de concreto, uma vez que à alta porosidade do agregado reciclado pode absorver a água de amassamento durante a mistura, podendo assim, prejudicar a trabalhabilidade, bem como, reduzir a relação a/c e resistência mecânica do concreto.

2.4 DOSAGEM EXPERIMENTAL

“Antes da realização de uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes apropriados e das suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um produto que deverá atender à resistência especificada” (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

A heterogeneidade dos materiais que compõe os concretos e a complexidade de seu comportamento, tanto no estado fresco, quanto no endurecido requerem cuidados no proporcionamento dos seus materiais constituintes, para se obter misturas econômicas e que apresentem as características de mecânicas e de durabilidade desejadas (HELENE & TERZINA, 1993).

A dosagem experimental tem como intuito ajustar corretamente a proporção dos materiais para obter um concreto com as características desejadas conciliando ao menor custo possível. No que diz respeito ao concreto com agregados reciclados, é necessária a utilização de um método de dosagem para a sua produção, pois os agregados reciclados possuem características de variabilidade distintas dos agregados normalmente utilizados para a produção de concreto convencional, como absorção, massa específica, teor de material pulverulento, entre outras (BARRA, 1996).

Existe na literatura uma diversidade de métodos de dosagem, tais como ITERS, INT, ABCP, IBRACON, entre outros.

Nesta pesquisa foi utilizado o método do IBRACON (MEHTA E MONTEIRO, 2008). De acordo com esta metodologia, são necessários no mínimo três pontos, que serão utilizados para construir o diagrama de dosagem, correlacionando-se resistência à compressão, relação água/cimento, traço e consumo de cimento.

A Figura 18 apresenta um modelo genérico de um diagrama de dosagem para concretos (HELENE & TERZIAN, 1993).

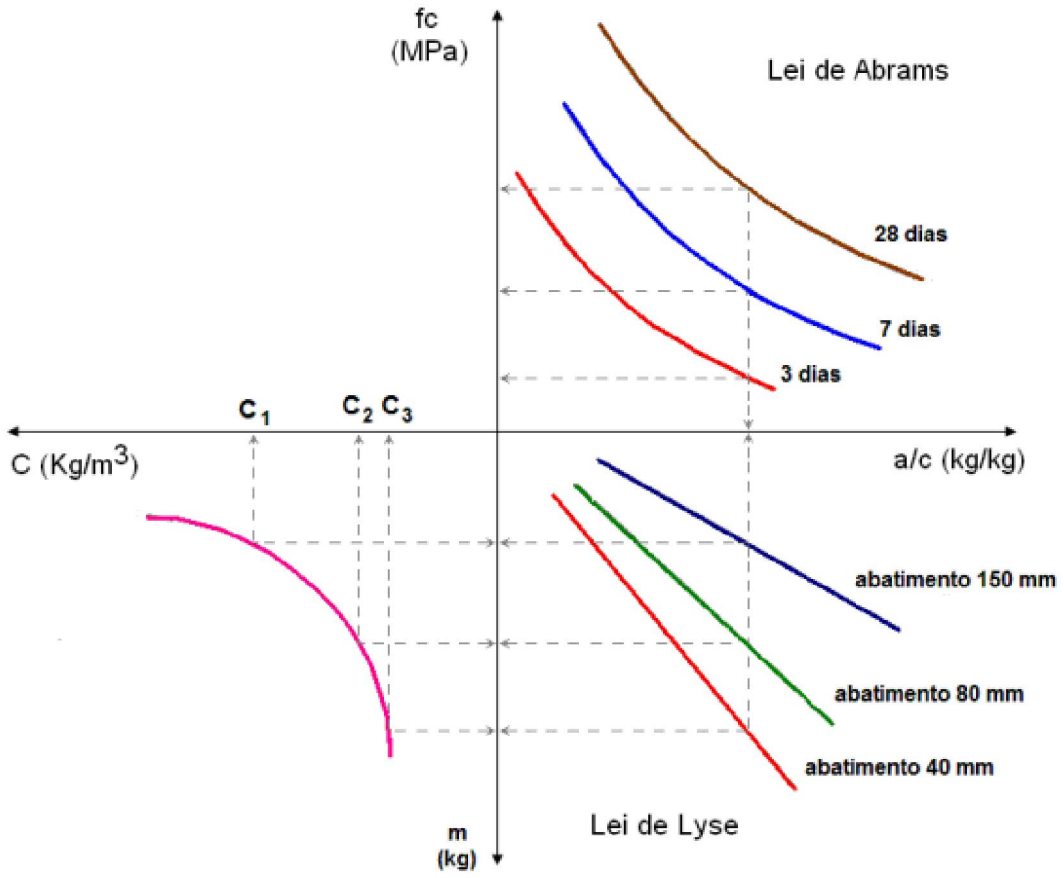


Figura 18 - Diagrama de dosagem – Modelo genérico de comportamento.

O diagrama apresentado na Figura 18 representa as correlações entre as “Leis de comportamento” do concreto. No primeiro quadrante é realizada uma correlação entre a resistência à compressão axial e a relação água/cimento (a/c), tomando como base a “Lei de Abrams”. O segundo quadrante apresenta uma correlação entre a relação água/cimento e a

relação de agregados secos/cimento (m), “Lei de Lyse”. No terceiro verifica-se uma correlação entre a relação de agregados secos/cimento e o consumo de cimento por m³ do concreto, “Lei de Molinari”. A Tabela 14 apresenta as correlações utilizadas para construção dos diagramas, assumidas como “Leis de comportamento” (HELENE & TERZIAN, 1993).

Tabela 14 – Correlações assumidas como “Leis de comportamento” (HELENE & TERZIAN, 1993).

Leis	**Correlações**
Lei de Abrams	$F_{cj} = k_1/k_2^{a/c}$
Lei de Lyse	$m = k_3 + k_4 . a/c$
Lei de Molinari	$C = 1.000 / (k_5 + k_6 . m)$

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO

2.5.1 Concreto fresco

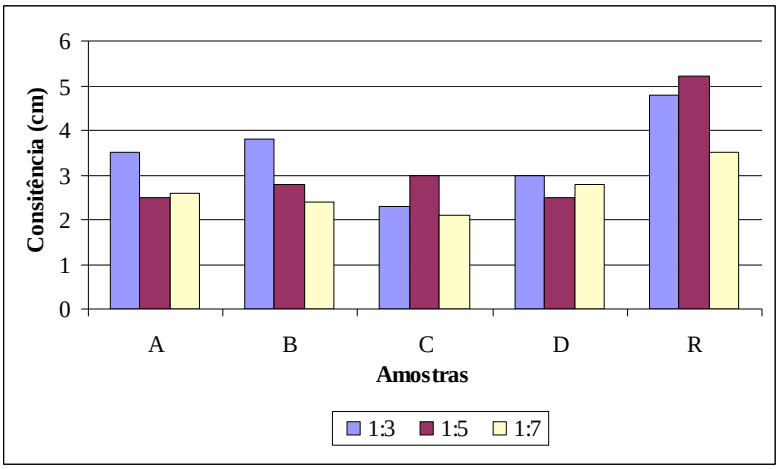
2.5.1.1Trabalhabilidade e relação água - cimento

“Uma das principais características do concreto que determina a sua aptidão para se manuseado é a sua consistência, que, na tecnologia do concreto, pode ser definida como a maior ou maior capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa” (HELENE & ANDRADE, 2007, p.939).

A trabalhabilidade do concreto é influenciada por fatores tais como, relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento, traço teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos grãos agregados. (HELENE & ANDRADE, 2007).

Uma das propriedades mais afetadas pela utilização do agregado reciclado para a produção de concreto é a trabalhabilidade, devidos as formas irregulares, a alta taxa de absorção e texturas ásperas deste material (LEITE, 2001).

Zordan (1997) constatou que os valores da relação a/c utilizados para a produção de concretos reciclados são bem maiores que os comumente empregados na confecção do concreto de referência. Verificou que o comportamento da consistência do concreto em relação ao consumo de cimento (traços utilizados) não obedeceu nenhuma regra que estivesse presente simultaneamente para as quatro amostras ensaiadas, e observou ainda que a consistência dos concretos confeccionados com agregados reciclados (A, B, C e D), em todas as amostras, apresentou-se inferior ao de referência (R), sendo que os valores se aproximam com o aumento da relação a/c, conforme Figura 19.



A, B, C e D: concretos com agregado reciclado; R: concreto de referência
Figura 19 – Trabalhabilidade em função do consumo de cimento (Zordan, 1997).

Buttler (2003) observou que a perda de trabalhabilidade do concreto reciclado foi maior quando comparada com o concreto de agregados naturais, pois o agregado reciclado continuou absorvendo água mesmo depois da mistura, chegando a absorver três vezes mais água nos dez primeiros minutos, comparado com o agregado natural, acarretando um aumento na relação a/c do concreto reciclado.

Carrijo (2005) percebeu através do ensaio de abatimento do tronco de cone que houve alta variabilidade no abatimento dos concretos com agregado reciclado mesmo após da compensação de parte da água de absorção dos concretos e adição de aditivos, chegando a um

valor de abatimento de 90 ± 40 mm, considerado alto (Figura 20). Além disso, constatou que o abatimento do concreto reciclado é menor que o fabricado com agregados naturais e que esse parâmetro diminui à medida que a massa específica decresce, segundo o autor, os agregados com menores densidades, além possuírem absorção à água superior, podem não vencer a resistência da pasta fresca por não possuir massa suficiente.

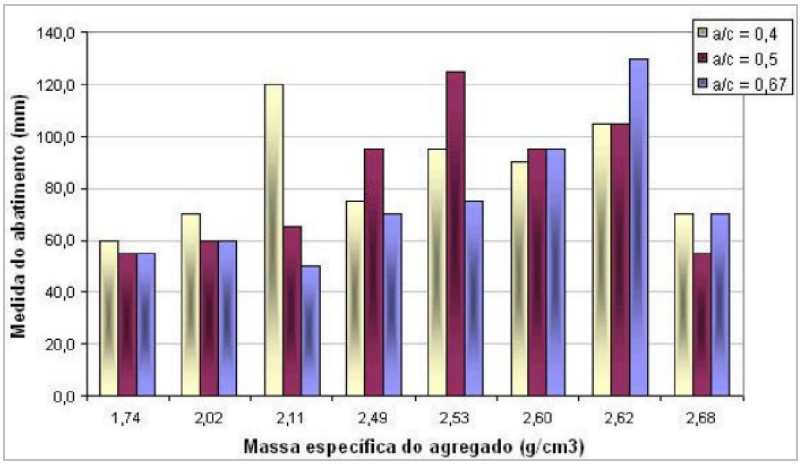
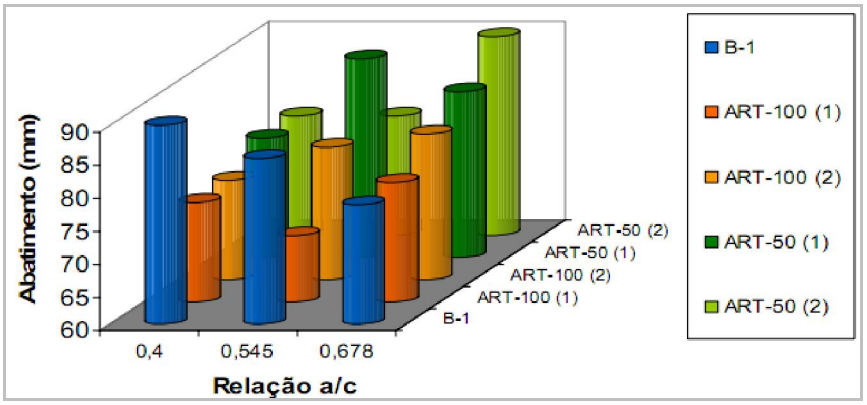


Figura 20 – Valores de medida da consistência dos concretos pelo abatimento do tronco de cone x massa específica do agregado (CARRIJO, 2005).

Fonseca (2006) atribui a granulometria mais contínua, a forma irregular e a textura mais áspera dos agregados reciclados à menor trabalhabilidade dos concretos produzidos com agregados reciclados em relação ao concreto de referência, conforme apresentado na Figura 21.



B-1 = concreto com agregado natural, ART-100 e ART - 50 (1) = concreto com 100 e 50%% de substituição de agregado grudo reciclado de telha (amostra 1), ART-100 e ART 50 (2) = concreto com 100 e 50% de substituição de agregado graúdo reciclado de telha (amostra 2).
Figura 21 – Abatimento x relação a/c (FONSECA, 2006).

Tenório (2007) mediu visualmente a trabalhabilidade dos concretos com agregado reciclado. O observou que não há uma tendência dos abatimentos dos concretos com agregados reciclados se repetirem e não houve relação entre os abatimentos e os teores de aditivos utilizados. Concluindo que a medição do abatimento pelo tronco de cone pode não ser adequada para concreto com agregados reciclados, visto que, mesmo com pequenos abatimentos apresentavam-se trabalháveis.

É consenso afirmar que a utilização de agregados reciclados em concretos ocasiona a perda de abatimento e aumento da relação água/cimento. Os fatores que mais afetam essas propriedades são a forma mais angulosa, alto poder de absorção e origem dos agregados reciclados.

2.5.1.2 Massa específica

A massa específica do concreto no estado fresco depende da massa específica do agregado e da sua porosidade, bem como sua textura, forma e tamanho das partículas (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Leite (2001) afirma que a massa específica de concretos produzidos com agregados reciclados é menor que a massa específica de concretos com agregados naturais, e que esta diminuição é influenciada principalmente pela relação água/cimento utilizada e pelo agregado reciclado, devido a sua alta porosidade.

Durante um estudo da avaliação de concretos com agregados reciclados, Levy (1997) verificou que houve uma redução da massa específica entre 5 e 10%, devido ao alto teor de ar incorporado presente no concreto com agregado reciclado.

Buttler (2003) encontrou os valores de massa específica apresentados na Tabela 15. Verificou que o grau de hidratação concreto utilizado para fabricação do agregado reciclado não exerce grande influencia nos valores de massa específica. Observou que o concreto reciclado apresentou valores inferiores ao concreto de referência, com reduções ente 4 e 5%.

Tabela 15 – Valores de massa específica (BUTTLER, 2003).

Dosagem	**Massa específica (kg/dm³)**	**Relação concreto reciclado/referência**
Referência	2,49	1,00
CR1	2,39	0,96
CR7	2,37	0,95
CR28	2,38	0,96
CRNA28	2,36	0,95

Carrijo (2005) concluiu em seu estudo que nos concretos frescos a massa específica variou em função da massa específica do agregado utilizado, reduzindo à medida que se diminuiu o valor da massa específica dos agregados reciclados. Afirma ainda que a alta porosidade do agregado reciclado seja uma das causas para que esta redução ocorra.

Fonseca (2006) constatou que a massa específica do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de telhas cerâmicas é menor que o concreto fabricado com agregados naturais, e que a relação a/c apresenta influência na massa específica no estado fresco, apresentando uma diminuição com o aumento da relação a/c. Observou ainda em sua pesquisa que a massa específica do concreto no estado fresco diminui 6 % e 12 % para os concretos confeccionados com 50 % e 100 % de substituição de agregados reciclados pelos naturais, respectivamente.

Nunes (2007) analisou concretos reciclados fabricados com diferentes teores de substituição de agregados reciclados de resíduo da construção civil. Numa análise comparativa entre os concretos de referência e os reciclados com 100% de teor de agregado reciclado, o autor observou uma taxa de redução média de 13%, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores comparativos entre o concreto de referência e concreto reciclado com 100% de teor de agregado reciclado (NUNES, 2007).

Concretos	Traços		
	1:6,5	1:5,0	1:3,5
	Massa específica (kg/dm³)		
Concreto de Referência	2,320	2,33	2,37
Concreto 100% agregado reciclado	1,99	2,045	2,07
% Percentual de redução da massa específica (%)	14,22	12,34	12,66
% Percentual de redução da massa específica (%)	13,07		

Diante dos resultados apresentados em diferentes pesquisas, conclui-se que a massa específica de concretos reciclados no geral é menor que o concreto de referência. Este fato sofre influencia principalmente da porosidade, formato dos grãos e natureza do material utilizado, que podem promover o aumento da relação água/cimento e conseqüentemente a diminuição da massa específica do concreto reciclado.

2.5.2 Concreto endurecido

2.5.2.1Absorção

Os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam maior absorção e índices de vazios se comparados com os agregados convencionais, esta característica ocorre em função do aumento da relação a/c, redução da densidade, permeabilidade e composição dos agregados reciclados (CARRIJO, 2005; FONSECA, 2006; LOVATO, 2007; TENÓRIO, 2007).

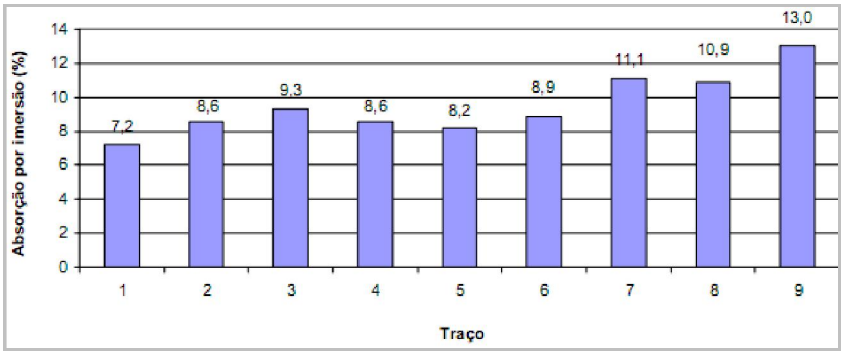
Levy (2001) analisou o comportamento do concreto de referência e concreto reciclado com diferentes teores de substituição de agregados miúdos e graúdos reciclados. Verificou que quando a resistência do concreto de referência passa de 20 para 40 MPa, a absorção por imersão passa de 7,4 para 6,1 % e o índice de vazios de 16,0 para 13,6%. Todavia, à medida que o agregado natural for substituído por 100% de agregado reciclado, dependendo do agregado escolhido, o valor da absorção pode aumentar em mais de 60 % em relação ao concreto de referência.

Buttler (2003) analisou concretos produzidos com 100% de substituição de agregado natural pelo reciclado. Concluiu que o grau de hidratação do cimento presente no agregado exerce influência nas taxas de absorção do material, quanto maior o teor de absorção maior é o graúdo de hidratação do cimento presente no material. A Tabela 17 apresenta as taxas de absorção de água obtidas.

Tabela 17 – Taxas de absorção de água dos concretos obtidas por Buttler, 2003.

Dosagem	Absorção de água (%)	Relação reciclado/natural	Índice de vazios	Relação reciclado/natural
Referência	4,65	1,00	11,17	1,00
CR1	6,01	1,29	13,60	1,22
CR7	6,48	1,39	14,44	1,29
CR28	6,50	1,41	14,56	1,30
CRNA28	7,11	1,53	15,58	1,39

Souza e Cabral (2009) analisaram concretos produzidos com diferentes teores de substituição de agregado miúdo e graúdo reciclado de concreto, com relação a/ 0,71. Neste estudo, a absorção de água por imersão dos concretos variou de 7,2% a 13,0%, conferindo um acréscimo de 44,8% entre a absorção do traço de referência e do traço com 100% de agregado reciclado. A Figura 22 apresenta as taxas de absorção dos concretos estudados.



1: 100% AGN e AMN; 2: 50% AGN e AGR, 100% AMN; 3: 100% AGR e 100% AMN; 4: 100% AGN, 50% AMN e AMR; 5: 100% AGN e 100% AMR; 6: 50% AGN e AGR, 50% AMN e AMR; 7: 50% AGN e AGR, 100% AMR; 8: 100% AGR, 50% AMN e AMR; 9: 100 AGR e AMR.

Figura 22 – Taxas de absorção dos concretos estudados (SOUZA E CABRAL, 2009).

Os concretos produzidos com agregados reciclados possuem taxas de absorção superiores quando comparados com os naturais, este parâmetro está intimamente ligado com a baixa massa específica, alta porosidade e do concreto dos agregados reciclados.

2.5.2.2Resistência à compressão simples

Segundo Petrucci (2005) os principais fatores que afetam a resistência à compressão são a relação a/c, a idade, forma e granulometria dos grãos e tipo de cimento.

Concretos produzidos com agregados reciclados possuem pelo menos dois terços da resistência à compressão do concreto confeccionado com o agregado natural (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Segundo Leite (2001) a diminuição da resistência à compressão dos concretos reciclados em relação ao de referência é muito influenciada pela alta porosidade dos materiais que o compõe e pela porosidade da zona de transição.

Zordan (1997) substituiu 100% dos agregados miúdos e graúdos naturais pelos reciclados, em estudos de resistência à compressão simples aos 28 dias, verificou que os concretos reciclados, obtiveram em média, 49, 62 e 93% da resistência do concreto de referência, utilizando-se os traços 1:3, 1:5 e 1:7, respectivamente. Observou o aumento de resistência do concreto ocorrido dos 28 aos 60 dias, sendo mais significativo no traço 1:7 que nos traços mais fortes (1:3 e 1:5). Além disso, constatou durante o seu estudo que nos traços mais pobres (menor consumo de cimento), os valores de resistência obtidos pelo concreto com agregado reciclado se aproximaram mais dos apresentados pelo concreto de referência (tanto aos 28, como aos 60 dias). Isto pode ter ocorrido porque quanto mais forte o traço utilizado, mais rica será a pasta de cimento, o que contribui, neste caso, para que o agregado (ou a zona de transição) seja a parte mais frágil do concreto.

Levy & Helene (2000) analisaram três famílias de concreto, de referência, com 50% de graúdo reciclado cerâmico e 50% de agregado graúdo de concreto. O valor de abatimento foi fixado em 70 ± 20 mm, o qual foi utilizado como fator de controle das misturas, conseqüentemente com diferentes valores para o teor a/c. Observou que concretos reciclados com agregados de origem cerâmica sofreram reduções de aproximadamente 40% em relação ao concreto de referência, enquanto que os concretos com agregado de concreto obtiveram resultados semelhantes ao concreto de referência. Concluindo que o material utilizado para a dos agregados exerce influência sobre a resistência à compressão dos concretos.

Segundo Fonseca (2006), observou durante o seu estudo uma queda de aproximadamente 42% para a substituição de 100% do AMN pelo AMR, já a substituição de 50 % dos agregados naturais pelos reciclados resultou em uma resistência à compressão mais próxima ao concreto de referência, porém ainda apresentando uma queda que variou entre 3 a 21%.

Nunes (2007) estudou concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de RCC provenientes de uma edificação predial de Goiânia-GO, utilizando três traços (1:3,5; 1:5,0; 1:6,5). Verificou que o grupo com 25 % de substituição de agregados miúdos naturais pelos reciclados no traço de 1:3,5 resistência à compressão mais próximo aos de referência. Contudo, os valores deste parâmetro para os concretos reciclados são inferiores ao concreto de referência, encontrando valores entre 5 e 30% inferiores. A Figura 23 apresenta os percentuais de resistência à compressão aos 28 dias de idade.

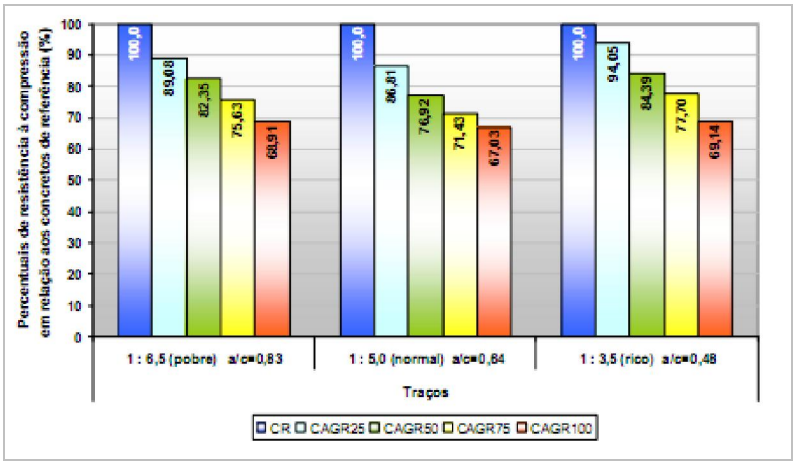


Figura 23 – Valores de resistência à compressão dos concretos estudados (NUNES, 2007).

Tenório (2007) encontrou valores de resistência à compressão para concretos reciclados inferiores aos de referência, com mais evidência nos concretos com relação a/c 0,5 e 0,4. Porém, em geral, estes valores apresentam-se próximos dos respectivos concretos de referência, conforme Figura 24. Concluiu que nos casos em que ocorreram diferenças acentuadas, evidenciou-se a influência negativa da absorção dos agregados graúdos reciclados. Percebe-se ainda que os concretos confeccionados com agregados de maior massa específica apresentaram melhores resultados de resistência à compressão.

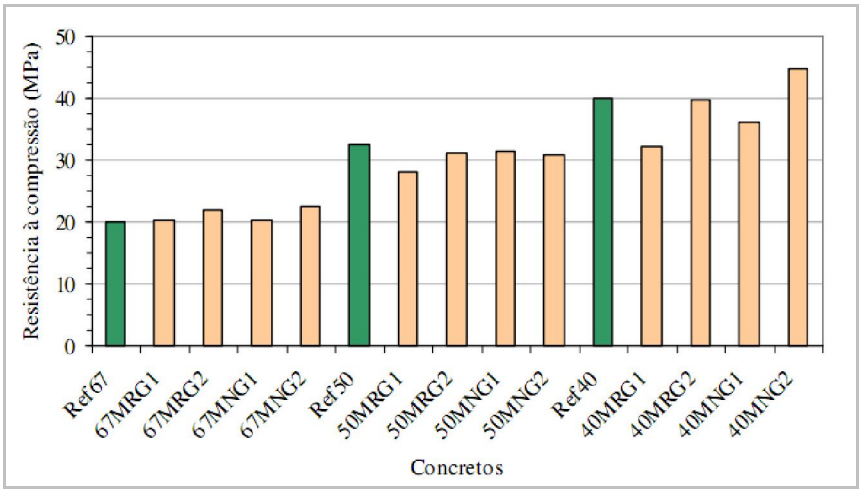


Figura 24 – Resistência à compressão dos concretos (TENÓRIO, 2007)

Lovato (2007) observou que concretos com agregados reciclados seguem a lei de Abrams, ou seja, quanto maior a relação a/c, menor é a resistência à compressão, conforme Figura 25. Conclui ainda que todos os traços com agregados reciclados apresentam resistências inferiores aos de referência.

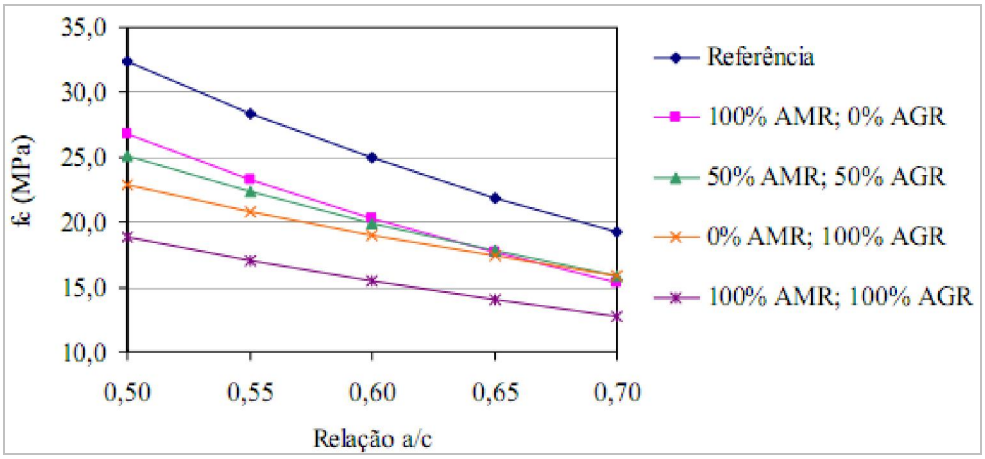


Figura 25 – Resistência à compressão x relação a/c (LOVATO, 2007).

Noronha e Cabral (2009) concluíram que a resistência à compressão dos concretos diminui à medida que os agregados naturais são substituídos pelos reciclados. Afirma ainda que os agregados miúdos reciclados influenciam de forma mais significativa nas propriedades mecânicas do concreto.

Embora a literatura aponte a redução da resistência à compressão ao se substitui o agregado natural pelo reciclado, há também registro de casos mais bem sucedidos, onde o a resistência do concreto reciclado supera o de referência.

O desempenho mecânico do concreto reciclado pode apresentar melhores resultados quando a resistência do concreto de origem é maior que a do novo concreto de referência (TAVAKOLI & SOROWSHIAN, 1996).

O aumento da resistência do concreto reciclado pode ser atribui grande quantidade de partículas não hidratadas de cimento presente no material, a qualidade do agregado reciclado, o efeito da pozolanicidade presente nos agregados miúdos, e ainda, a cura úmida interna por parte do agregado reciclado, fenômeno que ocorre com os agregados leves de alto poder de absorção (NEVILLE, 1995; BUTLER, 2003; BARBOSA, 2009).

Machado Jr, et al. (2000) encontrou valores superiores de resistência à compressão para concretos reciclados com teores de 50 e 100% de substituição de agregados graúdos reciclados, com valores entre 15 e 18% maiores quando comparados aos concretos de referência. Os autores atribuíram este comportamento a alta absorção dos agregados reciclados que não foi compensada para a produção dos concretos, que acarreta a diminuição de água livre no concreto, conseqüentemente aumentando a resistência à compressão.

Verifica-se a grande diversidade de resultados encontrados na literatura, ficando evidente a necessidade da criação de normas e metodologias de padronização do método de dosagem e ensaio para agregados e concretos reciclados, para que haja a unificação da avaliação das suas propriedades.

2.5.2.3Módulo de elasticidade

De acordo com Mehta & Monteiro (2008) a porosidade é uma das propriedades que mais afetam o módulo de elasticidade do concreto. Isso se deve ao fato de que a porosidade do agregado determina sua rigidez, o que por sua vez, controla a capacidade do agregado resistir a deformação da matriz.

A relação a/c e o teor e densidade dos agregados reciclados são as umas das variáveis que mais influenciam nos valores do módulo de elasticidade, ou seja, que quanto maiores forem as relações a/c e os teores de agregado graúdo reciclado utilizados na produção dos concretos, menor é o valor do módulo de elasticidade (LEITE, 2001; CARRIJO, 2005).

Leite (2001) a Figura 26 apresenta as curvas de módulo de elasticidade x relação a/c para concretos com diferentes teores de substituição de agregado miúdo e graúdo reciclado, confirmando que o aumento do teor da relação a/c provoca uma queda no valor do módulo de elasticidade. Verifica-se ainda que o agregado graúdo reciclado tem maior contribuição na diminuição do valor deste parâmetro, enquanto que o concreto com 100% de agregado miúdo apresenta valores superiores que o concreto de referência em todas as relações estudadas. Verificou que o módulo de deformação do concreto reciclado, o autor atribuiu esse comportamento à melhoria da matriz e da zona de transição do concreto com AMR.

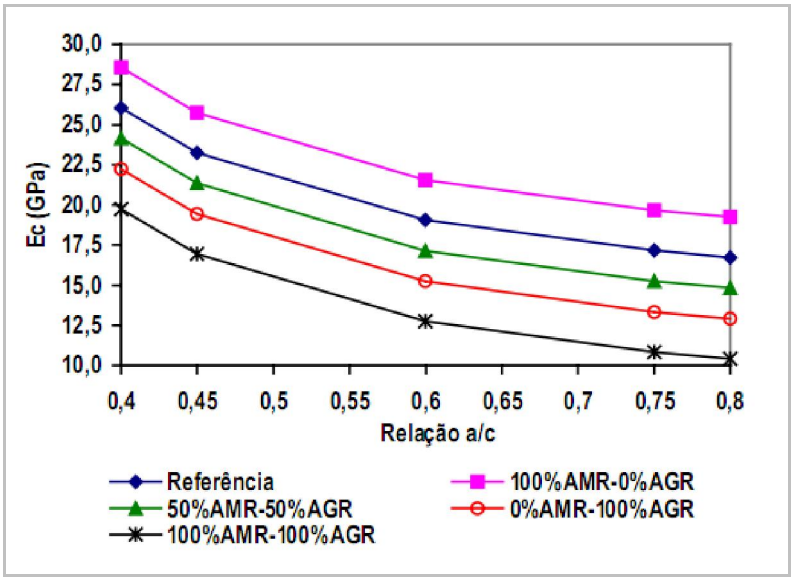


Figura 26 – Curvas de módulo de deformação em função da relação a/c (Leite, 2001).

Segundo Fonseca (2006), a substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado de telha provoca uma queda significativa no módulo de elasticidade dos concretos; afirma ainda que quanto maior o percentual de substituição maior é esta queda. Constatou que a substituição total do agregado natural pelo reciclado acarreta em uma queda de 60% do módulo de elasticidade, já a substituição de 50% dos agregados apresentou uma queda de 37%.

Conforme Lovato (2007), os concretos produzidos com agregados reciclados apresentam valores de módulo de elasticidade inferiores aos do concreto de referência, obtendo menores valores os concretos com 100% de substituição de agregados miúdos (AMR) e graúdos reciclados (AGR), conforme Figura 27.

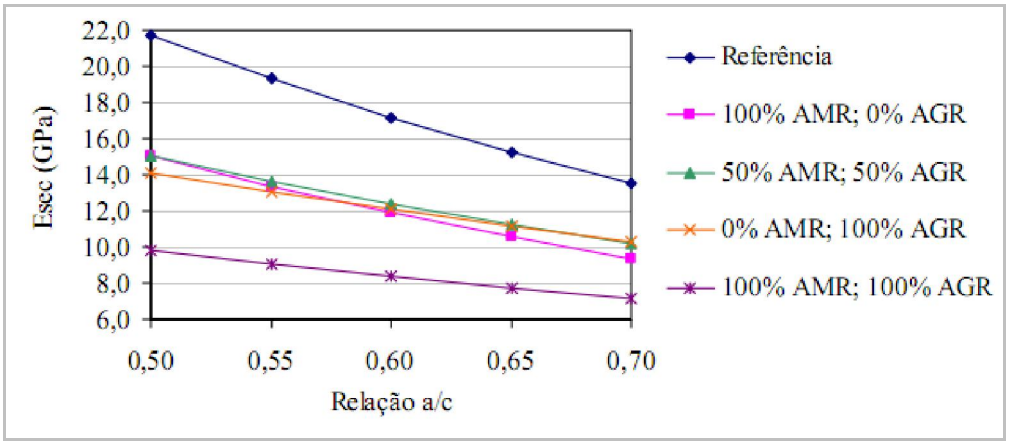


Figura 27– Curvas do módulo de elasticidade em função da relação a/c (LOVATO, 2007).

Para alguns traços investigados por Lovato (2007) encontrou-se reduções de até 55% do valor de módulo de elasticidade dos concretos reciclados em relação ao concreto de referência. Os traços que mais se aproximaram do concreto de referência foram os com 50% de substituição dos agregados miúdos e graúdos reciclados, apresentando reduções que variam entre 11% e 18%, dependendo da relação a/c.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi definido baseado no objetivo da pesquisa, que é verificar a influência da utilização do resíduo da construção civil como agregado miúdo reciclado para produção de concreto. Os procedimentos utilizados para a realização da pesquisa experimental estão divididos em cinco etapas principais. A primeira é a fase preparatória, onde foram coletadas e preparadas as amostras utilizadas durante a pesquisa. A segunda etapa corresponde à caracterização do agregado natural, reciclado e aglomerante, utilizados para a preparação do concreto, por meio de ensaios laboratoriais. Na terceira, foi realizada a dosagem experimental do concreto convencional e reciclado, com teores de substituição de 0, 50 e 100%. Na quarta etapa, foram moldados corpos de prova cilíndricos para o estudo das características do concreto produzido com agregado natural e reciclado. E por fim, na etapa final, após a realização dos ensaios do concreto no estado fresco e endurecido, foram montados os diagramas de dosagem para todas as famílias de concreto confeccionadas, possibilitando assim conhecer a tendência para as características estudadas dessas famílias. A Tabela 18 apresenta a seqüência das atividades planejadas.

Tabela 18 – Tabela resumo do programa experimental da pesquisa.

PROGRAMA EXPERIMENTAL				
ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
Coleta e preparação das amostras	Ensaios de Caracterização	Dosagem experimental	Produção de corpos de prova e estudo das propriedades do concreto	Estudo da tendência para as características das famílias de concreto
§ Coleta da amostra; § Composição gravimétrica; § Beneficiamento.	§ Agregado natural (miúdo e graúdo; § Reciclado (miúdo); § Aglomerante.	§ Estudo do teor ideal de argamassa do concreto convencional e reciclado.	§ Propriedades do concreto no estado fresco; § Propriedades do concreto no estado endurecido.	§ Montagem dos diagramas de dosagem.

3.1 COLETA DOS RESÍDUOS

O material empregado para o desenvolvimento da fase experimental desta pesquisa foi o resíduo da construção civil gerado em uma obra de edificação residencial de múltiplos pavimentos, na etapa de estrutura, da cidade de Recife-PE. O processo construtivo utilizado para a realização do empreendimento é o tradicional na região, ou seja, estrutura de concreto armado e vedação vertical com tijolos cerâmicos. O canteiro de obras possui sistema de gerenciamento de resíduos, logo, havia segregação dos resíduos por classes.

A coleta da amostra foi realizada junto à caçamba estacionária localizada no pavimento térreo da obra (Figuras 28 e 29), onde era acondicionado o resíduo classe “A” dentro do canteiro de obras, resultando num total de 1000 Kg de material. Após a coleta, o resíduo foi armazenado em bombonas plásticas e encaminhado para o Laboratório Avançado de Construção Civil (LAAC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Figura 28 – Coleta do resíduo junto à caçamba estacionária.

Figura 29 – Coleta da amostra de resíduo em obra na etapa de estrutura.

3.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Após a coleta da amostra, iniciou-se a etapa da análise da composição gravimétrica do material. O intuito desta análise é determinar a natureza dos materiais constituintes do resíduo, a partir da separação visual, de acordo com o tipo de material existente em sua composição (Figuras 30 a 33) e posterior pesagem. A separação foi realizada considerando-se os seguintes elementos:

A. Material miúdo: todo o material passante na peneira de malha # 4,8 mm;

B. Argamassa: toda parcela constituída por areia e um material aglutinante (cal ou cimento) sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;

C. Cerâmica: todo material cerâmico, como por tijolos e telhas cerâmicas;

D. Misto: incorporação de mais de um tipo de material de difícil identificação (argamassa + tijolo cerâmico);

E. Concreto: todo material composto pela união de areia, cimento e agregado graúdo, cuja identificação fosse possível;

F. Outros: materiais como, madeira, metais, plásticos, amianto, papel, trapos, dentre outros.

Figura 30– Aspecto do material bruto.

Figura 31 – material passante na peneira de # 4,8 mm.

Figura 32 – Separação dos materiais.

Figura 33 – Pesagem da fração de concreto.

3.3 BENEFICIAMETO DO RESÍDUO

Para que a amostra fosse submetida aos ensaios previstos na pesquisa, fez-se necessária a realização de um beneficiamento do material coletado, que consistiu em reduzir o tamanho das partículas da amostra por meio de um britador de mandíbulas, e separação da fração miúda através da peneira de # 4,8 mm, conforme Figuras 34 e 35, respectivamente.

Figura 34 – Britador de mandíbulas.

Figura 35 – Separação da fração miúda através da peneira de # 4,8 mm.

Ao final do beneficiamento e após análises granulométricas, percebeu-se que o material reciclado possuía características granulométricas divergentes do agregado natural (aspecto mais grosso), onde 50% do material apresentou-se retido entre as peneiras # 4,8 e 2,4 mm, enquanto que o agregado miúdo natural apresentou apenas 5,5 % dos grãos dentro desta faixa granulométrica. A NBR 7211 (ABNT, 2005) especifica o valor máximo de 25% para zona superior utilizável para esta malha, assim o agregado miúdo reciclado apresentou o dobro do valor máximo recomendado pela norma supracitada. Logo, fez-se necessária a realização da correção desta granulometria.

Inicialmente, foi realizada uma tentativa de correção através de um reprocessamento, ou seja, passando todo o material novamente no britador de mandíbulas utilizado durante a pesquisa, porém como este modelo possui limite de abertura de mandíbula não foi possível a diminuição das partículas do agregado reciclado. Assim a correção foi realizada passando todo o material na peneira com malha imediatamente abaixo da granulometria de # 4,8 mm de acordo com a NBR 7211 (ANBT, 2005), ou seja, # 2,4 mm. As Figuras 36 e 37 ilustram a mudança de aspecto do agregado miúdo reciclado após a correção de granulometria.

Figura 36 – Aspecto do agregado miúdo reciclado após beneficiamento.

Figura 37 – Aspecto do material após correção de granulometria.

O agregado miúdo natural apresentou-se dentro dos limites especificados pela norma supracitada.

3.4 SELEÇÃO E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

3.4.1 Agregados

Para o agregado miúdo natural, utilizou-se areia lavada proveniente do rio Sirinhaém - PE. Todo o material foi seco ao ar, homogeneizado e em seguida peneirado na peneira de malha #4,8 mm, sendo retirada assim toda a fração superior a esta malha.

No que se refere ao agregado miúdo reciclado, a obtenção deste material se deu pela britagem e peneiramento do resíduo da construção civil coletado. Foi utilizado como agregado miúdo toda a fração passante na peneira de malha # 2,4 mm. Tal procedimento foi realizado com base na aproximação da granulometria da areia natural utilizada durante a pesquisa, conforme mencionado no item 3.3. Antes da sua utilização, todo o agregado reciclado foi homogeneizado e quarteado para a realização dos ensaios de caracterização.

Como agregado graúdo natural, utilizou-se brita com diâmetro máximo de 19 mm, por ser uma granulometria comumente utilizada nos canteiros de obras da região. Este agregado foi lavado para a retirada do material pulverulento, ou qualquer outra impureza que pudesse

conter, e colocado para secar ao ar. Vale ressaltar que não foi utilizado agregado graúdo reciclado.

Os agregados miúdos (natural e reciclado) e o graúdo (natural) foram submetidos a ensaios de caracterização, tais como, análise granulométrica, massa específica, teor de material pulverulento e absorção de água, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Ensaios realizados nos agregados.

ENSAIOS	AGREGADOS		
	MIÚDO		GRAÚDO
	NATURAL	RECICLADO	
Granulometria (NM 248:2003)	X	X	X
Massa específica (NM 53:2009)	X	X	X
Massa unitária (NM 45:2006)	X	X	X
Teor de material Pulverulento (NM46:2003)	X	X	X
Absorção da água (NM 30:2001)	X	X	X

Os resultados dos ensaios estão apresentados no item 4.2.

3.4.2 Cimento

Para a produção dos concretos, utilizou-se nesta pesquisa o Cimento Portland Composto com Pozolana (CPII Z-32), pelo fato ser comumente utilizado na região. Os resultados dos ensaios de caracterização foram fornecidos pelo fabricante, e atendem à normalização específica, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Características físicas, mecânicas e químicas do cimento*.

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS			
ENSAIO		RESULTADOS	LIMITES DA NBR 11578/97
Finura	Resíduos na peneira de 75 µm (%)	3,2	≤ 12,0%
	Resíduos na peneira de 44 µm (%)	14,1	___
Massa específica (g/cm³)		2,96	___
Área específica - Blaine (m²/Kg)		506	≥ 260 (m²/Kg)
Água da pasta de consistência normal (%)		27,6	___
Tempo	Tempo de início de pega (h:min)	03h40	≥ 1h
	Tempo de fim de pega (h:min)	04h30	≤ 10h (facultativo)
Expansibilidade de Le Chatelier a quente (mm)		0,5	≤ 5 mm
Resistência à compressão	na idade de 1 dia (MPa)	13,1	___
	na idade de 3 dias (MPa)	22,0	≥ 10 MPa
	na idade de 7 dias (MPa)	26,5	≥ 20 MPa
	na idade de 28 dias (MPa)	35,3	≥ 32 MPa
COMPOSIÇÃO QUÍMICA			
Perda ao Fogo- PF		6,15	≤ 6,5%
Dióxido de Silício - SiO_2		24,01	___
Óxido de Alumínio - Al_2O_3		4,41	___
Óxido de Ferro - Fe_2O_3		2,21	___
Óxido de Cálcio Total – Cão		54,14	___
Óxido de Magnésio – MgO		4,39	≤ 6,5%
Anidrido Sulfúrico - SO_3		2,4	≤ 4,0%
Óxido de Sódio -Na_2O		0,1	___
Óxido de Potássio – K_2O		1,45	___
Anidrido Carbônico - CO_2		4,76	≤ 5,0%
Resíduo Insolúvel – RI		12,43	≤ 16,0%
Óxido de Cálcio Livre - CaO Livre		0,81	___

*Dados fornecidos pelo fabricante

3.5 DOSAGEM EXPERIMENTAL

Nesta pesquisa foi adotado o método de dosagem IBRACON (MEHTA & MONTEIRO, 2008) para a confecção dos concretos estudados, por ser um método de fácil aplicação. De acordo com esta metodologia, são necessários no mínimo três pontos, que serão utilizados para construir o diagrama de dosagem, correlacionando-se resistência à compressão, relação água/cimento, traço e consumo de cimento.

O início do procedimento dá-se com a determinação do teor ideal de argamassa utilizando um traço intermediário. A proporção adequada de argamassa é encontrada através de tentativas e observações práticas, realizando-se acréscimos sucessivos de argamassa na mistura. Em seguida, tomando como base as informações da mistura inicial (traço intermediário), são executados mais dois traços, um mais pobre e outro mais rico em cimento (HELENE & TERZIAN, 1993).

Inicialmente, foi fixada a trabalhabilidade em 10±2 cm e o traço intermediário em 1:5,0 (cimento: agregados secos, em massa), onde determinou-se a proporção adequada de argamassa por tentativas, acrescentando aos poucos argamassa na mistura, como mencionado anteriormente. Quando o concreto apresentava-se coeso, sem vazios na superfície, sem desprendimento dos agregados, com queda de modo homogêneo e compactado, realizava-se o ensaio de abatimento, prescrito na NM 67 (ANBT, 1998). Caso não atingisse o abatimento especificado (10±2 cm), acrescentava-se quantidade de água suficiente para chegar a trabalhabilidade desejada. As Figuras 38 e 39 ilustram etapas da dosagem experimental.

Figura 38 – Verificação visual do teor de argamassa.

Figura 39 – Acréscimo de argamassa na mistura

Este procedimento foi realizado para o concreto de referência (agregados naturais) e reciclado, com substituição de 50 % e 100% do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado de RCC.

Depois de obtido o teor ideal de argamassa (57% para o concreto de referência, 59% para o concreto com 50% de utilização de agregado reciclado, 63% para o concreto com 100% de utilização de agregado reciclado), foram calculados os traços auxiliares do estudo de dosagem, um rico (1:3,5) e um pobre (1:6,5) em cimento, mantendo-se o mesmo valor de teor ideal de argamassa. A relação a/c dos traços auxiliares foi determinada em função da abatimento do concreto, estabelecida em 10 ± 2 cm. Os novos traços foram produzidos tanto para o concreto de referência, como concretos reciclados com 50% e 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado, conforme apresentado nas Tabelas 21, 22 e 23, respectivamente. Para fins de cálculos foram aplicados os parâmetros dos materiais utilizados durante a pesquisa experimental.

Tabela 21 – Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto de referência (CRE).

Traço em massa	Número	T_1	T_2	T_3
	1:m	1:3,5	1:5,0	1:6,5
	1:a:b	1:1,57:1,93	1:2,42:2,58	1:3,28:3,22
Teor de argamassa	%	57	57	57
Relação a/c		0,48	0,63	0,86
Consumo por m³ de concreto	Cimento kg/m³	470	352	275
	Água l/m³	226	222	237
Relação água materiais secos (A%)		10,6	10,5	11,5

Tabela 22 – Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto reciclado com 50% de substituição de agregado natural pelo reciclado (C50AMR).

Traço em massa	Número	T_1	T_2	T_3
	1:m	1:35	1:5,0	1:6,5
	1:a:b	1:1,66:1,84	1:2,54:2,46	1:3,43:3,07
Teor de argamassa	%	59	59	59
Relação a/c		0,55	0,71	0,91
Consumo por m³ de concreto	Cimento kg/m³	450	340	270
	Água l/m³	249	242	246
Relação água materiais secos (A%)		12,2	11,8	12,1

Tabela 23 – Traços calculados através do estudo de dosagem – concreto reciclado com 100% de substituição de agregado natural pelo reciclado (C100AMR).

Traço em massa	Número	T_1	T_2	T_3
	1:m	1:35	1:5,0	1:6,5
	1:a:b	1:1,84:1,66	1:2,78:2,22	1:3,73:2,77
Teor de argamassa	%	63	63	63
Relação a/c		0,61	0,83	1,01
Consumo por m³ de concreto	Cimento kg/m³	437,24	325	261
	Água l/m³	268	270	264
Relação água materiais secos (A%)		13,5	13,8	13,5

3.6 PREPARO, MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Depois de calculados os traços auxiliares, foram realizadas as misturas e a moldagem dos corpos-de-prova de concreto, os quais foram submetidos a ensaios para o estudo das características dos concretos confeccionados.

A Tabela 24 representa a nomenclatura utilizada para as famílias de concreto estudadas.

Tabela 24 – Tabela esquemática da produção do concreto

PRODUÇÃO DO CONCRETO		
1:3,5	1:5,0	1:6,5
$CRE_{3,5}$	$CRE_{5,0}$	$CRE_{6,5}$
$C50AMR_{3,5}$	$C50AMR_{5,0}$	$C50AMR_{6,5}$
$C100AMR_{3,5}$	$C100AMR_{5,0}$	$C100AMR_{6,5}$

A nomenclatura das famílias de concreto foi realizada de acordo com a porcentagem de agregado miúdo reciclado utilizado para a sua confecção e a subscrição numérica indica a proporção da dosagem (cimento : agregados secos, em massa). Por exemplo, a sigla $CRE_{3,5}$ significa, concreto de referência no traço de 1:3,5, $C50AMR_{3,5}$ significa concreto reciclado com 50% de substituição de agregado miúdo reciclado no traço de 1:3,5.

A realização das misturas dos materiais para produção do concreto obedeceu à seguinte ordem: inicialmente colocava-se a brita, em seguida água, cimento, areia natural ou reciclada e por fim, adicionava-se aos poucos a água restante. Os corpos-de-prova de concreto foram moldados e curados de acordo com a prescrição da NBR 5738 (2003). Foram moldados, para cada traço de concreto produzido, 30 corpos-de-prova, totalizando 270 CPs, em formas cilíndricas metálicas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foi adotado o processo de adensamento manual, realizando duas camadas, como prevê a norma supracitada e a cura dos corpos-de-prova foi realizada ao ar, nas primeiras 24 horas, e, após este período, foram desmoldados e curados em câmara úmida até a data de execução dos ensaios, em idades que variam de 3 a 91 dias. A Tabela 25 apresenta um resumo da quantidade de corpos de prova moldados por tipo de ensaios, para cada traço de concreto.

Tabela 25 – Resumo de corpos de prova moldados por tipo de ensaio, para cada traço de concreto.

Ensaio	**fc_j/Ec_j**				**Absorção**	**Total**
Idades	**3**	**7**	**28**	**91**	**28**	**30**
Nº CP (10 x 20 cm)	6	6	6	6	6	

A Figura 40 apresenta o final da moldagem dos corpos de prova, e a Figura 41 apresenta os corpos de prova acondicionados na câmara úmida, até a data da realização dos ensaios.

Figura 40 – Moldagem dos corpos de prova.

Figura 41 – Acondicionamento dos corpos de prova em câmara úmida.

3.7 ENSAIOS REALIZADOS NOS CONCRETOS

3.7.1 **Ensaios em concreto no estado fresco**

Foram executados os seguintes ensaios nos concretos no estado fresco:

- Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone – NBR NM 67 (ABNT, 1998);

- Determinação da massa específica – Concreto fresco – Método gravimétrico NBR 9833 (ABNT, 2009)

3.7.1.1 Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio de consistência foi realizado de acordo com a NBR NM 67 (ANBT, 1998). Como mencionado no item 3.5, o abatimento foi fixado em 10 ± 2 cm. Sendo assim, era considerado aceitável o concreto que atingisse o limite de abatimento estipulado. Além do ensaio de abatimento do tronco de cone, era realizada também a avaliação visual no que diz respeito a não apresentação de vazios nas laterais, boa compactação e ausência de exsudação.

3.7.1.2 Determinação da massa específica

O ensaio de determinação da massa específica foi realizado de acordo com a NBR 9833 (ANBT, 2009), com a adaptação do recipiente utilizado para medir este parâmetro, onde foi utilizado um recipiente metálico de 8 dm^3, conforme Figura 42.

Figura 42 – Adensamento do concreto para ensaio de massa específica.

3.7.2 **Ensaios em concreto no estado endurecido**

Os corpos de prova de concreto no estado endurecido foram submetidos aos seguintes ensaios:

- Determinação da absorção de água – NBR 9778 (ABNT, 2009);
- Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739 (ABNT, 2007);
- Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão – NBR 8522 (ABNT, 2008).

3.7.2.1 Determinação da absorção de água

Os procedimentos para realização do ensaio de determinação da absorção de água seguiram as especificações da NBR 9778 (ABNT, 2009). As Figuras 43 e 44 ilustram a secagem dos corpos de provas em estufa com temperatura entre 100 e 110ºC por período de 72 h e submersão em água com temperatura entre 19 e 25ºC durante 72 horas.

Figura 43 – Secagem dos corpos de prova em estufa.

Figura 44 – Submersão dos corpos de prova em água.

3.7.2.2 Determinação da resistência à compressão

O ensaio de determinação de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), em corpos de provas cilíndricos com dimensões 10 x 20 cm. Para a execução do ensaio foi utilizada um prensa universal totalmente computadorizada, conforme Figura 45.

Figura 45 – Ensaio de resistência à compressão.

Antes de serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram retificados, a fim de se obter uma superfície plana para a execução do ensaio. A Figura 46 ilustra o corpo de prova de concreto sendo retificado e a Figura 47 apresenta o aspecto dos corpos de prova após este procedimento.

Figura 46 – Retificação do corpo de prova.

Figura 47 - Aspecto dos corpos de prova após serem retificados.

3.7.2.3 Determinação do módulo de elasticidade

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade foi realizado de acordo com NBR 8522 (ABNT, 2008). Contudo a quantidade de corpos de prova ensaiados foi reduzida, após a obtenção da média dos resultados de resistência à compressão de cinco corpos de prova, era realizada a determinação do módulo de elasticidade em um corpo de prova, acoplando-se os

extensômetros ao mesmo, conforme Figura 48. Para a realização do ensaio foi utilizada a mesma prensa universal utilizada para a determinação da resistência à compressão.

Figura 48 – (a) Ensaio de determinação do módulo de elasticidade e (b) detalhe da fixação dos extensômetros

3.8 DIAGRAMA DE DOSAGEM PARA CONCRETOS

Depois de obtidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação, foram construídos os diagramas de dosagem a partir de modelos matemáticos baseados na estatística, seguindo o roteiro proposto pelo IBRACON (MEHTA & MOTEIRO, 2008). A partir deste modelo foi possível estudar as correlações entre as propriedades mecânicas dos concretos estudados e as variáveis que influenciam estes parâmetros. Neste sentido, foram construídos diagramas de dosagens para as propriedades de resistência à compressão e módulo de deformação para todas as famílias de concreto estudadas.

Assim, após construção dos diagramas foi possível obter graficamente ou através das equações a tendência dos parâmetros do concreto de referência e dos concretos com teores de 50 e 100% de AMR.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios mencionados no capítulo 3.

4.1 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Foi realizada a análise da composição gravimétrica do resíduo coletado, onde se separou todo o material de acordo com a sua natureza e posteriormente pesou-se cada fração. A partir dos resultados obtidos determinou-se a porcentagem em massa de cada constituinte da amostra, conforme Tabela 26.

Tabela 26 – Percentual em massa dos constituintes da amostra de resíduo da construção civil coletada em uma obra da cidade de Recife-PE.

Constituinte	Massa (kg)	Porcentagem (%)
Material miúdo*	26,24	3
Tijolo cerâmico	34,70	4
Argamassa	11,00	1
Concreto	686,42	69
Misto**	232,68	23
Total	991,55	100

* Material passante na peneira # 4,8 mm;
** Mais de um tipo de material incorporado de difícil distinção (argamassa + tijolo);

Observou-se após a pesagem do resíduo que apenas 0,05% do material classificado como outros (madeira, papel, metais, trapos, entre outros) apresentava-se presente na amostra, optou-se por desprezar este material devido a sua pequena ocorrência. Observa-se também, a predominância de concreto (69%), além de uma quantidade significativa de argamassa e tijolos na amostra, se somado os percentuais de argamassa, tijolos e material misto (28%). A Figura 49 apresenta a distribuição da composição do resíduo estudado.

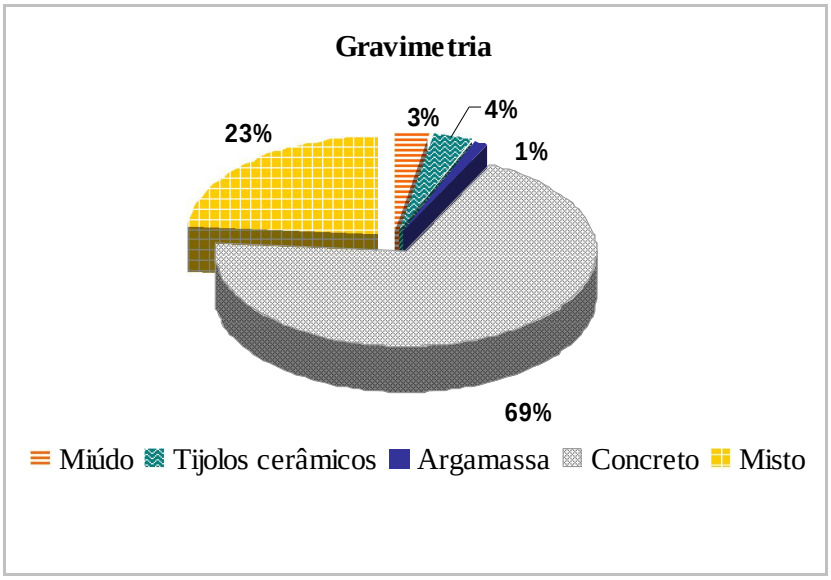


Figura 49 – Composição gravimétrica

Ao analisar a Figura 49, observa-se a presença de vários materiais na composição da amostra. A ocorrência de heterogeneidade na composição e o baixo percentual de material contaminante do resíduo já foram encontrados em estudos anteriores, tais como, o Zordan (1997), Leite (2001), Vieira (2003), Carneiro (2005), Nunes (2007), Córdoba (2010).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

4.2.1 Composição Granulométrica

Foi realizado o estudo da composição granulométrica dos agregados miúdos (natural e reciclado) e graúdo, conforme as especificações de NBN NM 248 (ABNT, 2003).

Agregado Miúdo

O agregado miúdo natural e reciclado apresentaram diferentes características granulométricas apesar da tentativa de aproximar ao máximo este parâmetro, conforme mencionado no item 3.3. Contudo, embora o AMR apresente valor de diâmetro máximo inferior em relação ao valor deste parâmetro do AMN, ao analisar a distribuição do material nas peneiras (Tabela 27), observa-se que o agregado miúdo natural apresenta apenas 6% de material retido na peneira de # 2,4 mm, muito próximo ao limite para que o agregado natural e reciclado

possuíssem mesmo valor para este parâmetro, já que o diâmetro máximo, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), é o valor correspondente a abertura da peneira que apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

No que diz respeito ao módulo de finura, o agregado miúdo reciclado apresentou valor próximo ao do agregado natural, com um decréscimo de 10%. Um menor valor de módulo de finura acarreta um aumento da superfície específica, ocasionando um acréscimo no consumo de água na mistura de concreto.

Uma maior quantidade de material com diâmetro menor que 150µm (Fundo) apresenta-se presente no material reciclado, aproximadamente 18%, enquanto que o natural existe aproximadamente 2% de material com este diâmetro. Van Der Wegen & Haverkort (1998) também chegaram a valores superiores a 10%. Segundo Coutinho (1997) um alto teor de finos nas misturas de concreto podem influenciar bastante na quantidade de água de amassamento necessária, o que pode provocar diminuição da resistência mecânica do concreto produzido.

A Tabela 27 apresenta os resultados do ensaio de análise da composição granulométrica do agregado miúdo natural e reciclado.

Tabela 27 – Composição granulométrica do agregado miúdo natural (AMN) e reciclado (AMR)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA – Método de ensaios NBR NM 248 (ABNT, 2003)					
Agregado miúdo natural			Agregado miúdo reciclado		
Abertura Peneira (mm)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)	Abertura Peneira (mm)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)
4,75	0,00	0	4,75	0	0
2,40	5,50	6	2,36	0,10	0
1,18	13,40	19	1,18	24,05	24
0,6	35,95	55	0,6	22,00	46
0,3	31,70	87	0,3	21,00	67
0,15	11,30	98	0,15	14,90	82
FUNDO	2,15	100	FUNDO	17,95	100
Total	100	-	Total	100	-
Diâmetro máximo (mm)		4,75	Diâmetro máximo (mm)		2,36
Módulo de finura (kg/dm³)		2,62	Módulo de finura (kg/dm³)		2,56

Ambos os materiais apresentam granulometria contínua, aspecto positivo para a confecção dos concretos, que segundo Neville (1997), permite o melhor arranjo entre as partículas do agregado. A Figura 50 apresenta as curvas do AMN e AMR e dos respectivos limites

estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Verifica-se que os agregados miúdos estão dentro dos limites estabelecidos pela norma supracitada.

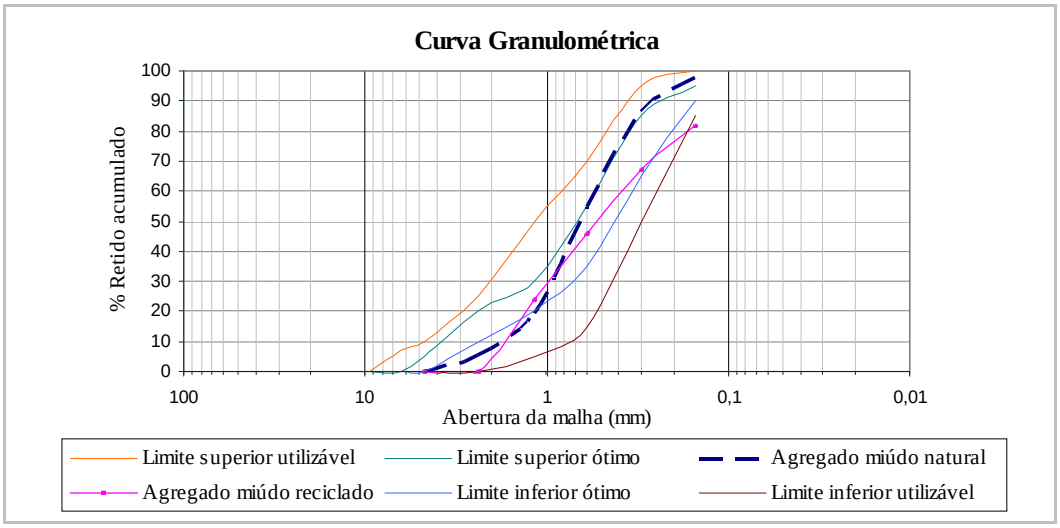


Figura 50 – Curvas granulométricas do agregado miúdo natural (AMN) e agregado miúdo reciclado e dos respectivos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005), aplicada à agregado miúdo de concreto.

Agregado Graúdo

A Tabela 28 apresenta o resultado do ensaio de composição granulométrica do agregado graúdo natural.

Tabela 28 – Composição granulométrica do agregado graúdo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (NBR NM 248/2003)					
Abertura da peneira (mm)	Peneiramento retido (g)			Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)
	1ª	2ª	Média		
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0
12,5	2895,00	2872,00	2883,50	57,67	58
9,5	1165,00	1173,00	1169,00	23,38	81
6,3	645,00	652,00	648,50	12,97	94
4,75	167,00	175,00	171,00	3,42	97
2,40	79,00	82,00	80,50	1,61	99
1,18	12,00	15,00	13,50	0,27	99
0,6	7,00	6,00	6,50	0,13	99
0,3	4,00	3,00	3,50	0,07	100
0,15	6,00	5,00	5,50	0,11	100
FUNDO	20,00	17,00	18,50	0,37	100
Diâmetro máximo (mm)	19,10				
Módulo de finura (kg/dm³)	6,75				

O AGN obedeceu aos limites estabelecidos pela NBR 7122 (ABNT, 2005), conforme Figura 51.

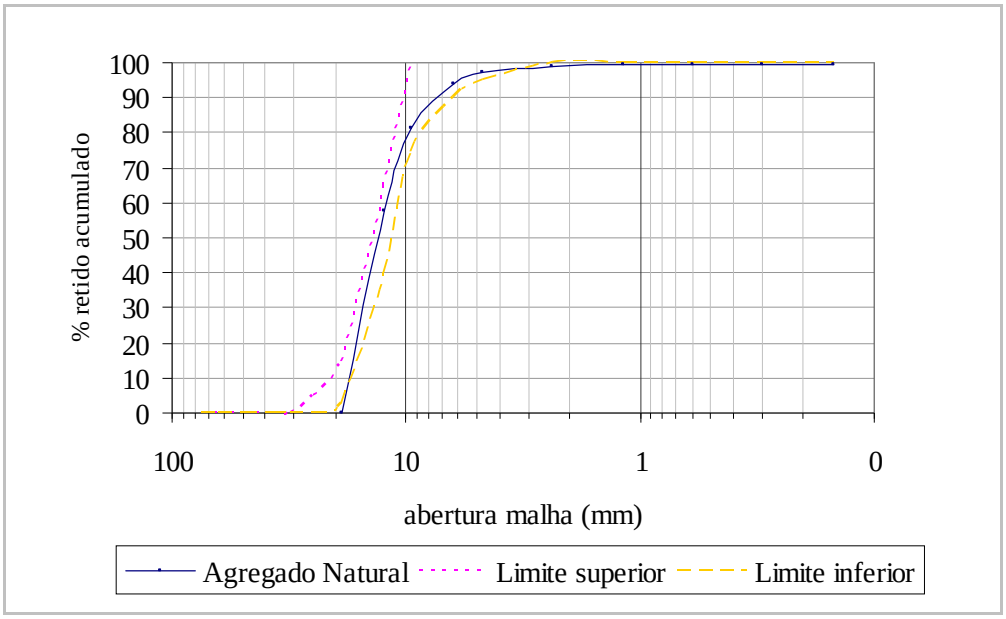


Figura 51– Curva granulométrica do agregado graúdo natural

4.2.2 Teor de Material Pulverulento

Foi realizado o ensaio de determinação do teor de material pulverulento tanto para o agregado graúdo, miúdo natural e reciclado, de acordo com as especificações de NM 46 (ABNT, 2006).

Os resultados revelaram que o agregado graúdo apresentou teor de material pulverulento de 0,4 %, estando assim dentro do limite estabelecido pela NBR 7211 (2005), que estipula valor máximo de 1% para este parâmetro.

O valor do teor de material pulverulento do agregado miúdo natural também satisfaz o limite máximo permitido pela NBR 7211 (2005), que não deve exceder 3% em massa no caso de concretos submetidos a desgaste superficial e 5% para concretos protegidos a desgastes superficiais. O que não ocorreu no caso do agregado miúdo reciclado, que apresentou um valor de 8,7%.

A Tabela 29 apresenta os resultados obtidos após realização do ensaio.

Tabela 29 – Teor de material pulverulento do agregado miúdo natural e reciclado e graúdo natural.

Fração granulométrica	Tipo de material	Teor de material pulverulento relativo à massa do agregado (%)
Miúdo	Natural	1,0
	Reciclado	8,7
Graúdo	Natural	0,4

Pesquisas realizadas por Souza (2001), Oliveira (2001); Tenório (2007), Barbosa Jr. (2008), também obtiveram valor de teor de material pulverulento acima do limite estabelecido pela NBR 7211 (2005).

4.2.3 Massa específica e massa unitária

A Tabela 30 apresenta os valores encontrados para massa específica e massa unitária dos agregados utilizados na pesquisa.

Tabela 30 – Resultados de massa específica e massa unitária dos agregados utilizados na pesquisa.

Fração granulométrica	Tipo de material	Massa específica (kg/dm³)	Relação com o natural (%)	Massa unitária (kg/dm³)	Relação com o natural (%)
Miúdo	Natural	2,62	-	1,45	-
	Reciclado	2,54	96	1,20	82
Graúdo	Natural	2,70	-	1,38	-

O agregado graúdo apresenta massa específica e massa unitária dentro de valores comuns aos agregados graúdos comumente utilizados para a confecção de concretos.

A massa específica do agregado miúdo reciclado é cerca 3% menor que o agregado natural, no que diz respeito à massa unitária, apresentou uma redução de 18% em relação ao AMN. Os resultados obtidos revelam uma característica bastante discutida na literatura, a menor densidade dos agregados reciclados. Várias pesquisas, tais como a de Leite (2001), Vieira

(2003), Sani et al. (2005), Cabral (2007), Silva et al. (2008), Barbosa (2009), chegaram a resultados semelhantes.

A origem do material utilizado como agregado reciclado é um dos principais fatores para a diminuição da massa específica do agregado reciclado, devido aos materiais antigos aderidos às partículas do agregado reciclado, como restos de argamassa (HANSEN, 1992; LEITE, 2001).

4.2.4 Absorção de água dos agregados

Os agregados naturais apresentaram baixas taxas de absorção, com valor de 1% para o agregado miúdo natural e 0,33% para o agregado graúdo natural. No que diz respeito ao agregado miúdo reciclado, após 24h de imersão, verifica-se uma taxa de absorção de cerca de 10 vezes maior em comparação ao AMN. Conforme observado na Tabela 31.

Tabela 31 – Resultados dos valores de absorção dos agregados utilizados na pesquisa

Fração granulométrica	Tipo de material	Absorção de água após 24h (%)
Miúdo	Natural	1
	Reciclado	10,28
Graúdo	Natural	0,33

A menor massa específica dos agregados reciclados tem influência no maior teor de absorção dos agregados reciclados. A massa específica e teor de absorção são inversamente proporcionais, pois quanto menor a densidade maior será o número de poros presentes no grão.

O material cimentício aderido aos grãos, o alto teor de finos, maior superfície específica, são umas das principais causas do alto teor de absorção do agregado reciclado (HANSEN, 1992; BARRA, 1996; DESSY et al., 1998; LIMA, 1999; MACHADO Jr et al,. 2000; SOUZA, 2001).

4.3 ENSAIOS DO CONCRETO

4.3.1 Consumo de cimento e água dos concretos estudados

Os concretos produzidos com o traço rico obtiveram o maior consumo de cimento, devido à menor proporção de agregados secos (1:3,5) presente na mistura. Na medida em que houve o aumento da proporção de agregados reciclados na mistura de concreto, o valor deste parâmetro sofreu um decréscimo, chegando a diminuir até 20% em relação ao concreto de referência, este fato também foi observado nos demais traços (1:5,0; 1:6,5), conforme Figura 52.

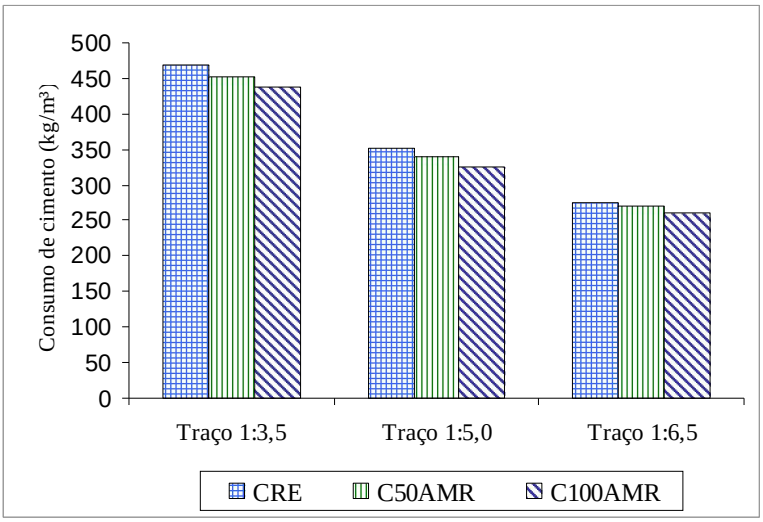


Figura 52– Consumo de cimento dos concretos produzidos

O consumo de cimento para o concreto dosado com 100% de agregado miúdo reciclado foi de aproximadamente 440 kg/m³ para o traços rico, 325 kg/m³ para o traço intermediário e 260kg/m³ para o traços pobre, enquanto que o concreto de referência apresentou consumos de 470 kg/m³, 352 kg/m³ e 275 kg/m³, para o traço rico, intermediário e pobre respectivamente.

No que diz respeito ao consumo de água dos concretos confeccionados, verificou-se que houve o aumento deste parâmetro com o acréscimo do teor de agregado reciclado na mistura, sendo mais significante nos concreto produzidos com 100% de substituição dos agregados naturais pelos reciclados. A Figura 53 apresenta os consumos de água das famílias de concreto estudadas.

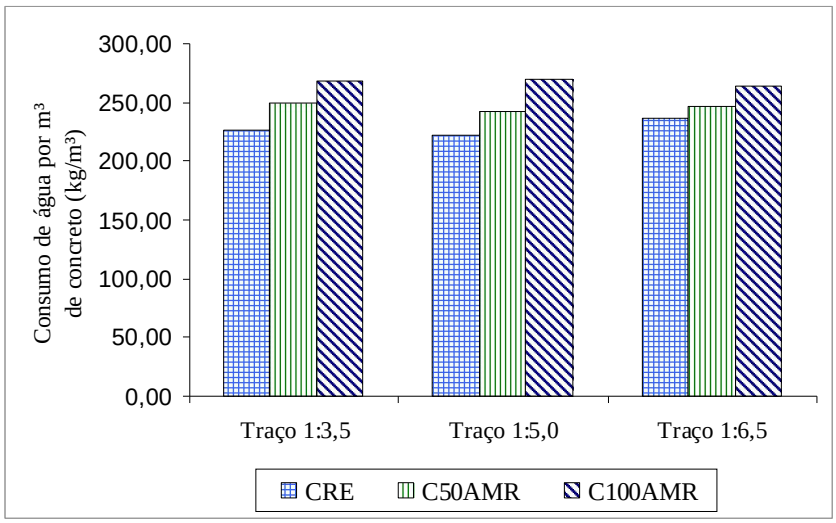


Figura 53– Consumo de água por m³ de concreto

Verifica-se na Figura 53 que houve um aumento no consumo de água nos concretos reciclados, chegando a atingir valores 20% superiores, para o concreto com 100% de teor de agregado reciclado no traço intermediário, quando comparado com o CRE, revelando uma característica típica de agregados reciclados de RCC, ou seja, o alto poder de absorção.

A menor massa específica do agregado reciclado e alto poder de absorção citada por Leite (2001); Butler (2003); Carrijo (2005) são propriedades que afetam o aumento do consumo de água do concreto reciclado.

4.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.4.1 Abatimento

Conforme mencionado no item 3.7.1.1 foi estabelecido o abatimento de 10± 2 cm para todas as famílias de concreto confeccionadas. Percebeu-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados, maior era a dificuldade para atingir o abatimento fixado.

Optou-se nesta pesquisa, por não efetuar a pré-umidificação dos agregados reciclados anteriormente à mistura, com o intuito de observar as características de concreto reciclado no estado fresco, ao se adicionar a mesma quantidade de água utilizada no concreto de

referência. Durante a dosagem do concreto reciclado, percebeu-se a perda de trabalhabilidade e coesão ao utilizar a mesma relação a/c do concreto de referência (Figura 54), havendo assim, a necessidade do aumento deste parâmetro à medida que se acrescentou AMR à mistura (Figura 55).

Figura 54 – Aspecto do C100AMR$_{3,5}$ ao utilizar a mesma relação a/c do concreto de referência (0,48), apresentando abatimento 0 (zero).

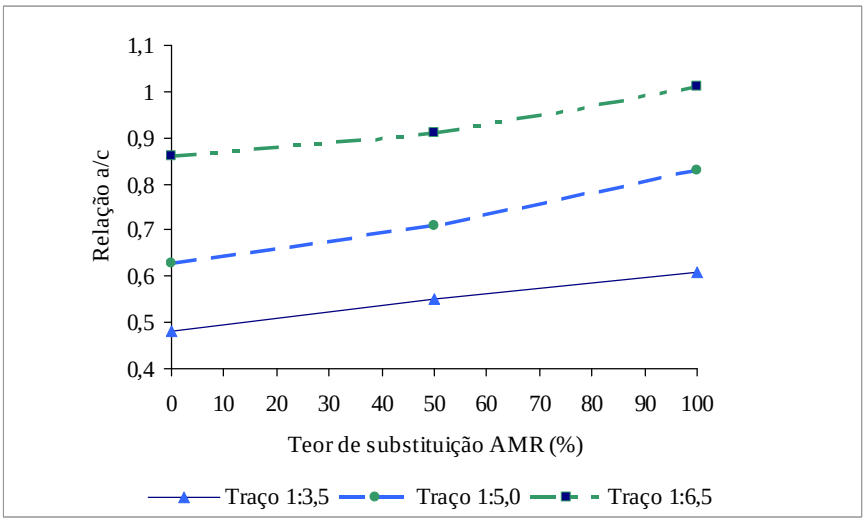


Figura 55 – Relação água cimento em função do teor de substituição do AMR

Verifica-se na Figura 55 que a medida do aumento do teor de material reciclado houve a necessidade de incremento de cimento e água na mistura. Enquanto que o concreto de referência obteve relação a/c máxima de 0,63 o concreto com 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado obteve um valor próximo de 1,0 para este parâmetro, demasiadamente elevado.

Zordan (1997); Butler (2003) afirmam que o alto poder de absorção do agregado reciclado acarreta num aumento da relação a/c do concreto reciclado, sendo mais significativo em concretos com substituição total de agregados naturais pelos reciclados.

Contudo, depois de atingida a trabalhabilidade especificada, o concreto reciclado apresentava melhor aspecto visual, apresentando menor quantidade de vazios e melhor compactação, conforme pode ser visualizado na Figura 56.

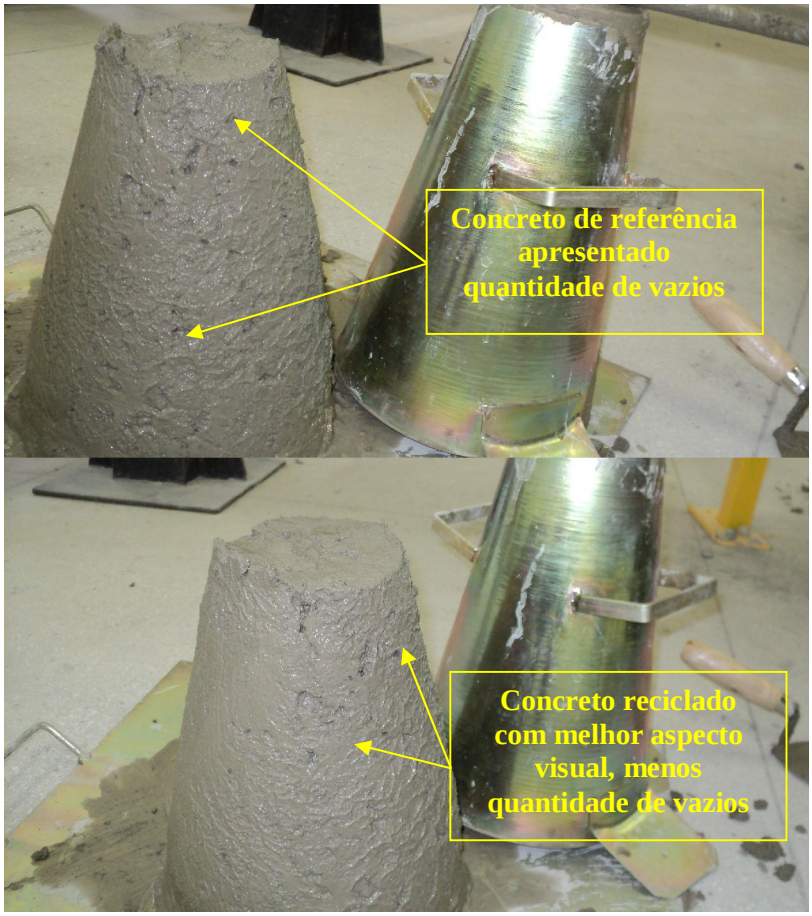


Figura 56 – Comparação do aspecto visual entre o concreto de referência e reciclado com 50% de substituição.

Após os ajustes necessários durante a dosagem, todas as famílias de concreto reciclado obedeceram ao limite anteriormente fixado (10 ± 2 cm), a Tabela 32 apresenta os valores obtidos durante o ensaio de abatimento, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Tabela 32 – Abatimento das famílias de concreto produzidas.

Abatimento (mm)			
	Traço 1:3,5	Traço 1:5,0	Traço 1:6,5
CRE	90	90	100
C50AMR	110	90	90
C100AMR	110	80	95

4.4.2 Massa específica

No que diz respeito à massa específica do concreto no estado fresco, verifica-se uma diminuição deste parâmetro com o aumento do teor de substituição dos agregados reciclado, conforme Figura 57.

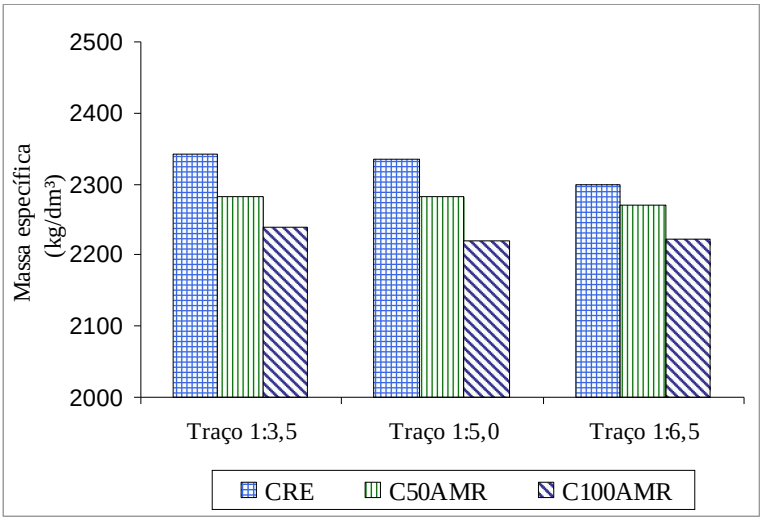


Figura 57 – Massa específica das famílias de concreto no estado fresco.

Comparando o concreto de referência com os concretos reciclados, produzidos com 50 e 100% de teor de agregado miúdo reciclado, verifica-se que os concretos do mesmo traço (1:m) apresentaram uma diminuição média de 3% do valor da massa específica, na medida que houve o aumento do teor de AMR, conforme Figura 58.

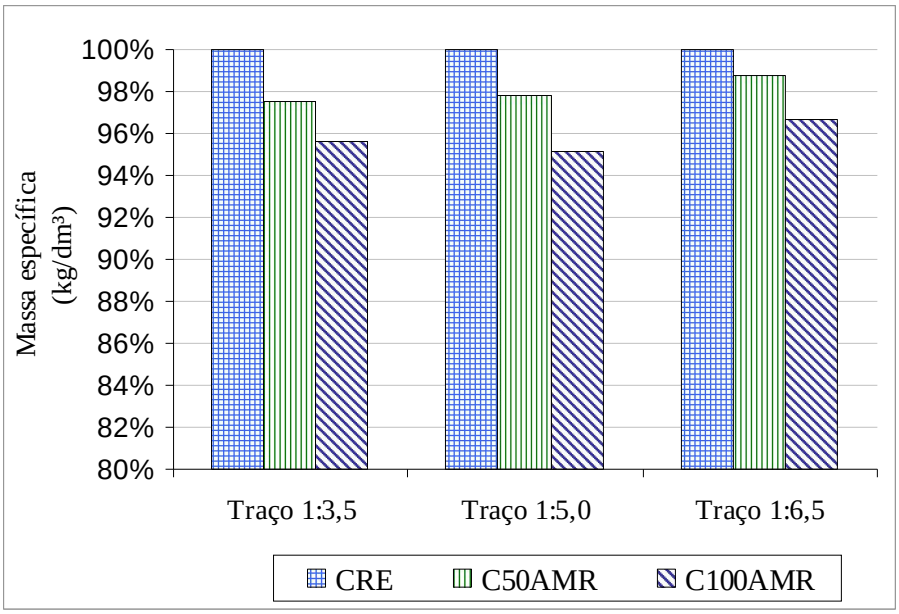


Figura 58 – Porcentagem do decréscimo da massa específica dos concretos estudados.

Nunes (2007) chegou a resultados semelhantes, afirma que a origem do material utilizado como agregado reciclado interfere no valor da massa específica, atribuindo os valores obtidos ao teor de ar aprisionado e da redução da massa específica referente à parcela do agregado presente no traço.

Como a massa específica do concreto reciclado é intimamente ligada à massa específica do agregado, é esperada a diminuição deste parâmetro com o incremento do agregado reciclado. Além disso, verifica-se que a relação a/c e conseqüentemente o consumo de água nos concretos reciclados apresentam valores superior quando com o concreto de referência, o que acarreta numa diminuição da massa específica dos concretos reciclados, devido a maior porosidade do concreto.

4.5 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIO

4.5.1 Absorção de água

Os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram uma maior taxa de absorção de água, este parâmetro ganha significância à medida que o teor de AMR aumenta. A Figura 59 apresenta os resultados do ensaio de absorção após 72h de submersão.

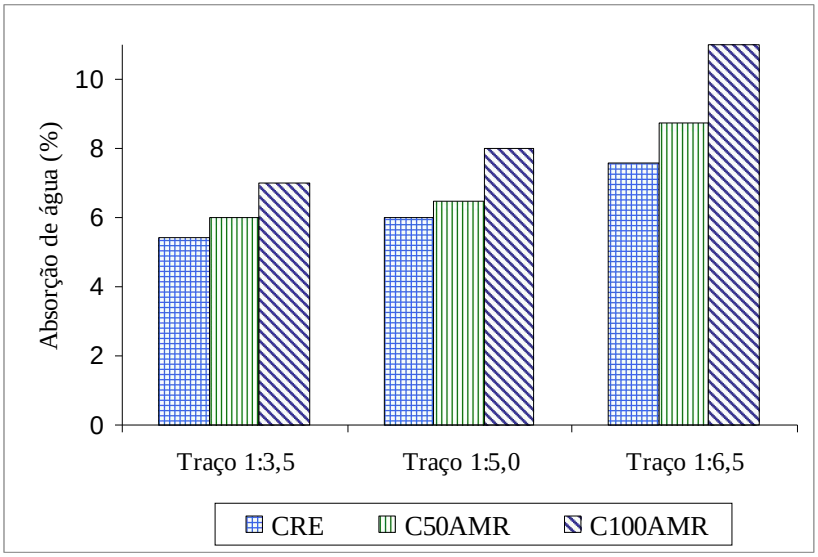


Figura 59– Absorção de água dos concretos.

Verifica-se na Figura 60 que o incremento no valor de absorção de água nos concretos reciclados no traço de 1:6,5 torna-se ainda mais expressivo, chegando a um aumento de 45% em relação ao concreto de referência.

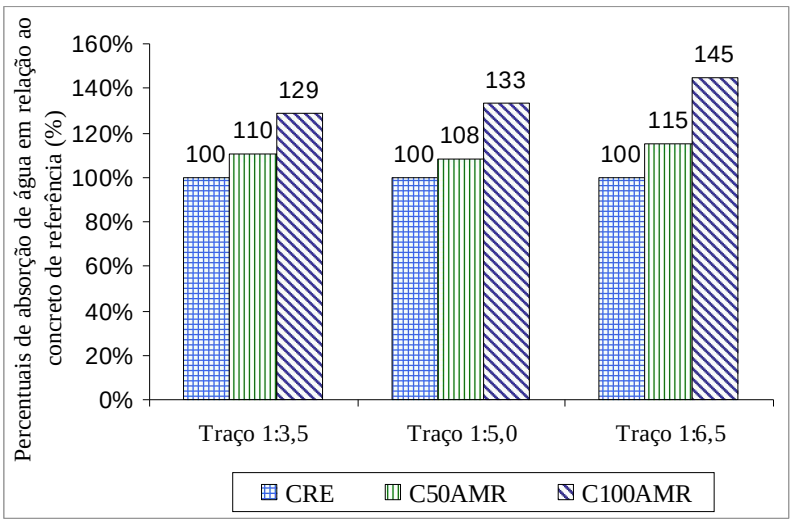


Figura 60 – Percentuais de absorção em relação ao concreto de referência.

Outros estudos chegaram aos mesmos resultados encontrados, Levy (2001) encontrou valores de absorção de água de concreto reciclado até 60% superiores em relação ao concreto de referência, enquanto Butler (2003); Souza & Cabral (2009) chegaram a valores de aproximadamente 50% superiores,

A alta absorção do agregado reciclado é consenso na literatura, esta característica intrínseca do concreto reciclado está associada ao aumento da relação a/c, diminuição da densidade, aumento da porosidade e composição dos agregados reciclados (CARRIJO, 2005; FONSECA, 2006; LOVATO, 2007; TENÓRIO, 2007).

4.5.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nos concretos estudados nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Verifica-se que os concretos fabricados com agregado reciclado, apenas apresentaram uma pequena redução na resistência à compressão quando comparado ao concreto de referência. Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Idade (dias)	Teor de substituição	Resistência à compressão		
		1:3,5	1:5,0	1:6,5
3	CRE	22,21	12,74	8,35
	C50AMR	18,91	13,16	7,40
	C100AMR	18,00	10,35	6,63
7	CRE	24,91	17,98	10,63
	C50AMR	22,25	16,46	9,97
	C100AMR	20,15	14,41	9,53
28	CRE	31,97	21,87	10,72
	C50AMR	31,00	22,74	14,34
	C100AMR	27,94	20,95	12,88
91	CRE	40,00	27,72	19,76
	C50AMR	40,00	29,74	18,44
	C100AMR	35,75	26,25	18,00

A Tabela 34 apresenta as respectivas relações água cimento para dos concretos estudados em relação aos traços utilizados.

Tabela 34 – Relação a/c dos concretos estudados.

Teor de substituição	Traço 1:3,5	Traço 1:5,0	Traço 1:6,5
CRE	0,48	0,63	0,86
C50AMR	0,55	0,71	0,91
C100AMR	0,61	0,83	1,01

Verifica-se que apesar do aumento significativo da relação a/c dos concretos reciclados (Tabela 33), houve apenas uma pequena redução da resistência à compressão do concreto reciclado em relação ao concreto de referência (Tabela 32), em alguns casos chegando a

superar o concreto de referência. Dedutivamente, devido ao alto poder de absorção dos agregados reciclados, conclui-se que uma parcela da água adicionada durante a dosagem, foi absorvida pelo agregado reciclado durante a mistura, já que não foi realizada a pré-umidificação dos agregados reciclados. Logo a relação a/c do concreto reciclado é menor do que foi efetivamente calculada, pois apenas uma parcela da água adicionada é referente à água de amassamento dos concretos reciclados. Contudo, não se pode mensurar ao certo a quantidade de água absorvida, já que não houve este controle antes da moldagem. Segundo Neville (1995) a quantidade de água absorvida pelo agregado reciclado, pode promover uma "cura interna" durante o endurecimento da pasta, proporcionando melhores resultados de resistência à compressão.

Além disso, segundo Machado Jr. et al. (1998) agregados com alto teor de absorção, como é o caso dos agregados reciclados, podem diminuir o teor de água livre na mistura de concreto quando o mesmo é utilizado seco, assim haverá o aumento da resistência à compressão.

As Figuras 61 e 62 apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3 e 7 dias respectivamente.

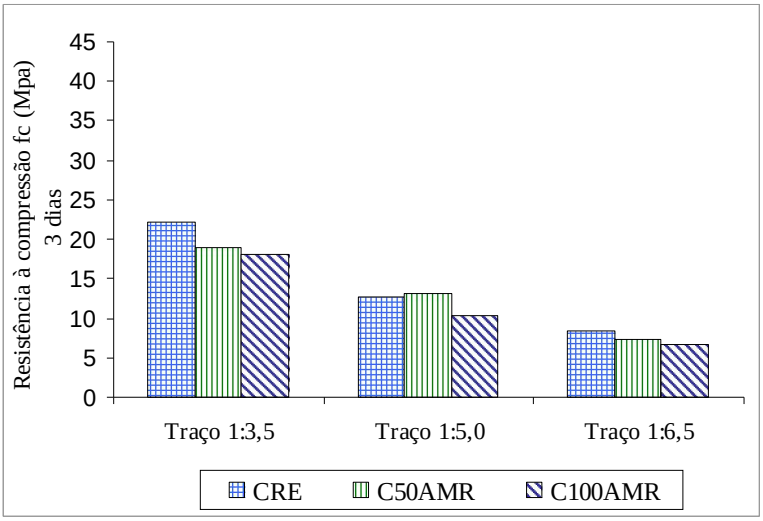


Figura 61 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3 dias

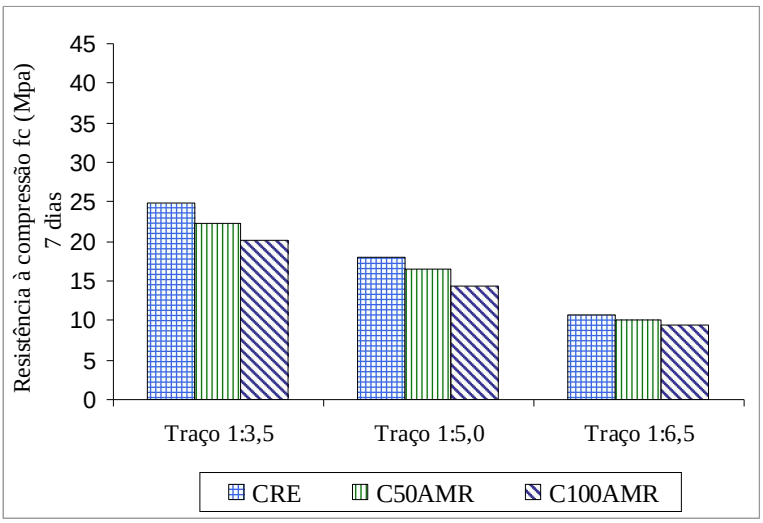


Figura 62 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias

Nas primeiras idades os resultados do ensaio de resistência à compressão revelam um decréscimo de valores na medida em que se aumentou o teor de agregado reciclado, ao se comparar com o concreto de referência, com exceção apenas do concreto com 50% de substituição, que ao terceiro dia apresentou melhor desempenho que o concreto de referência. Nos demais casos o concreto com agregado reciclado obteve uma média de redução de apenas 2%.

As Figuras 63 e 64 apresentam os valores de resistência à compressão dos 28 e 91 dias respectivamente.

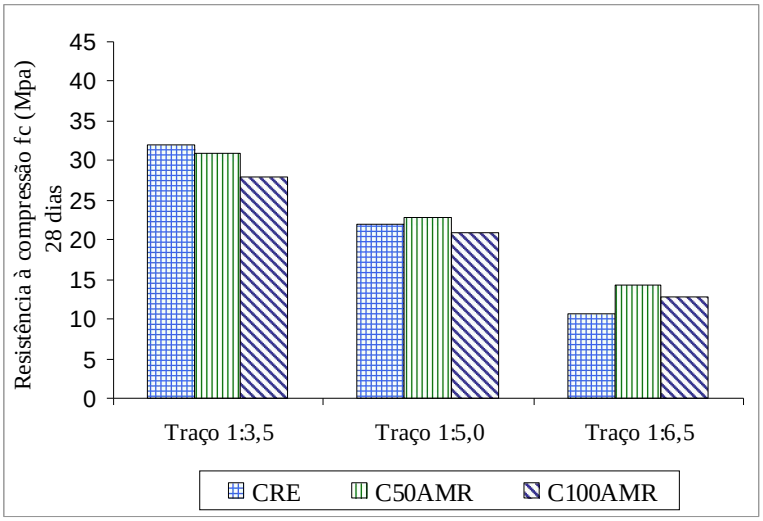


Figura 63 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias.

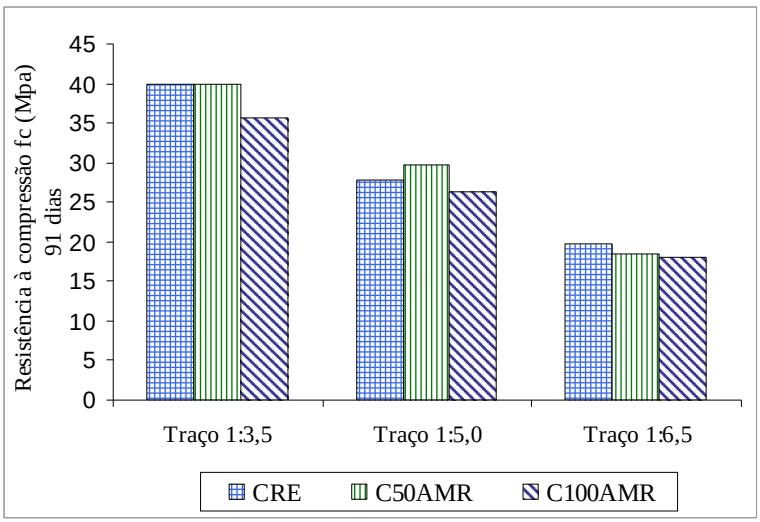


Figura 64 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 91 dias.

Aos 28 dias os concretos reciclados apresentaram melhores resultados quando comparados com o concreto de referência. Apenas no traço rico, no qual o concreto reciclado apresentou decréscimos de apenas 1 e 2% para os teores de 50 e 100% de AMR, respectivamente. Aos 91 dias o concreto agregado reciclado apresentou praticamente os mesmo resultados quando comparado ao concreto de referência. Verifica-se que o concreto com 50% de substituição não sofreu grande influência, já os concretos com teores de 100% de AMR apresentaram pequenas quedas nos valores de resistência à compressão, contudo não chegam a ultrapassar 2% de redução.

No geral os concretos reciclados apresentaram valores muito próximos aos concretos de referência.

Levy & Helene (2000) ao analisarem concretos fabricados com agregados reciclados de concreto, obteve valores semelhantes ao concreto de referência. Segundo Tavakoli e Soroushian, 1996, quando a resistência do concreto de origem é maior que o novo concreto de referência, ou seja, agregados de boa qualidade, melhoram o desempenho mecânico do concreto reciclado.

Machado Jr. et al (2000) chegou a valores de resistência à compressão de concretos reciclados de 14 e 19% superiores para concretos com 50 e 100% de teor de agregado reciclado. Os autores atribuem este crescimento à alta absorção do agregado reciclado, que não foi

compensada para a produção dos concretos, fazendo com que devido a esta propriedade do material reciclado, diminuísse o teor de água livre no concreto, conseqüentemente aumentando a resistência à compressão.

4.5.3 Módulo de elasticidade

De modo geral, o módulo de elasticidade dos concretos reciclados apresentou-se inferior ao de referência na medida do aumento do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado, conforme pode ser observados nas Figuras 65, 66, 67 e 68.

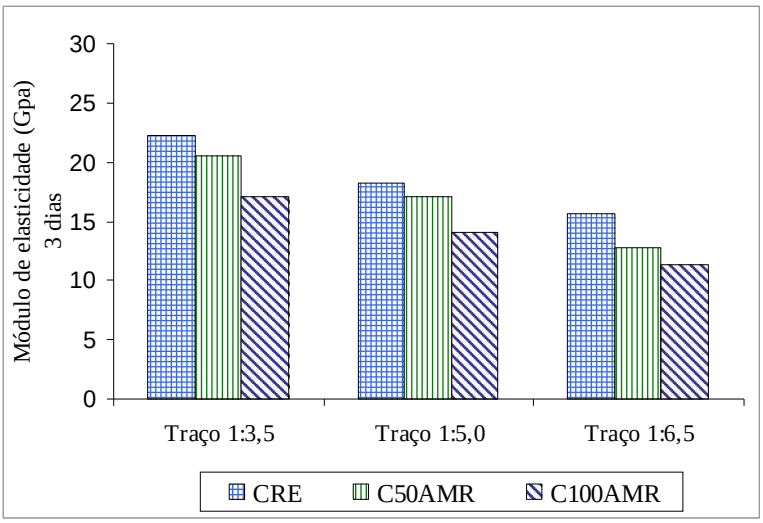


Figura 65 – Módulo de elasticidade aos 3 dias.

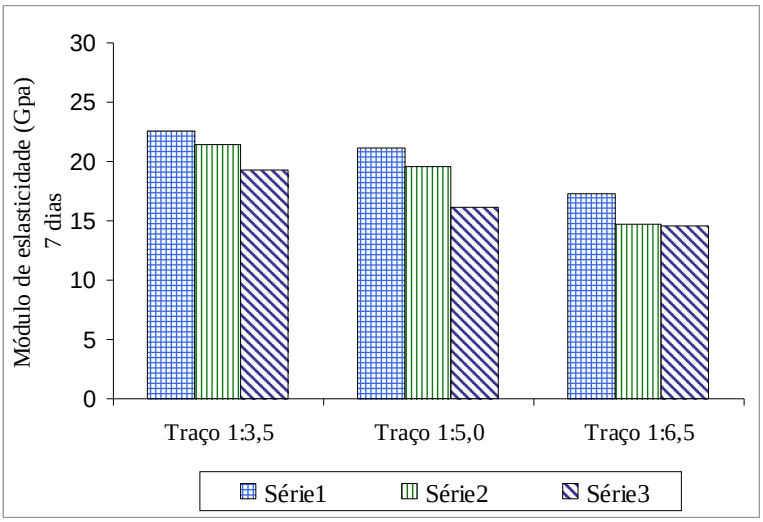


Figura 66 – Módulo de elasticidade aos 7 dias.

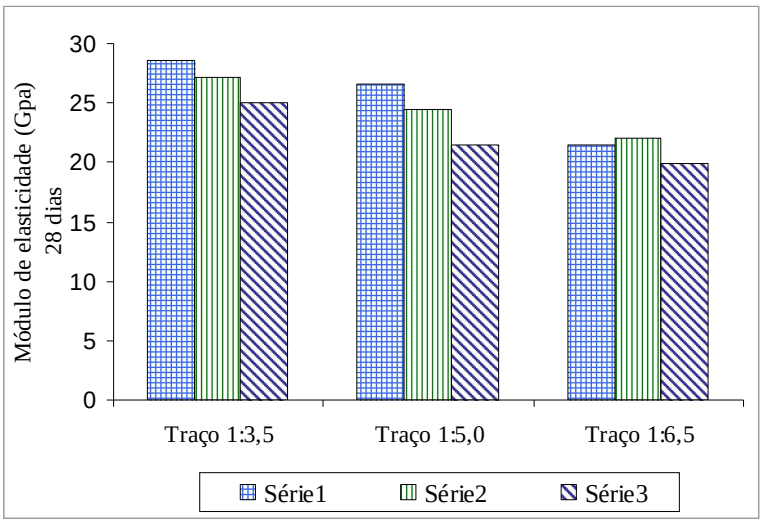


Figura 67 – Módulo de elasticidade aos 28 dias

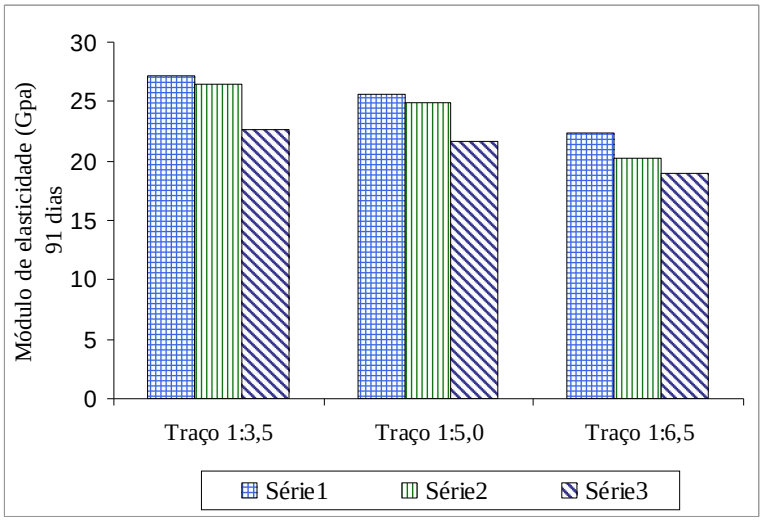


Figura 68 – Módulo de elasticidade aos 91dias

Verifica-se que houve uma queda a medida do incremento de agregado reciclado na mistura. Esta redução aos 91 dias ficou em torno de 5% para os concretos com 50% de teor de AMR e 15% para os concretos com 100% de AMR. Este comportamento pode ser atribuído à menor massa específica do agregado reciclado.

Hansen (1992) menciona que concretos reciclados podem apresentar uma redução no valor do módulo de elasticidade entre 15 e 40% em relação aos concretos com agregados naturais.

Angulo (2005) encontrou valores de módulo de elasticidade até 47% inferiores para os concretos reciclados, que segundo o autor sofreram influência da porosidade do agregado.

A massa espefícia é inversamente proporcional a porosidade. De acordo com Mehta & Monteiro (1994), os fatores que afetam a porosidade do agregado exercem relevante influência no módulo de deformação do concreto.

Segundo Levy (1997) isto ocorre devido à camada à antiga camada de argamassa aderida à superfície do agregado de concreto e a maior porosidade dos concretos que compõe o resíduo.

4.6 DIAGRAMAS DE DOSAGEM

Conforme mencionado no item 3.8, depois de obtidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação, foram construídos diagramas de dosagem, onde foi possível estudar as correlações entre as propriedades mecânicas dos concretos estudados e as variáveis que influenciam estes parâmetros. Neste sentido, foram construídos diagramas de dosagens para as propriedades de resistência à compressão e módulo de deformação para o concreto de referência e concretos com 50 e 100% de teor de agregados reciclados.

A partir dos diagramas de dosagem da resistência à compressão x a/c (Lei de Abrams), determinou-se as equações que permitem calcular os valores das relações a/c para as resistências à compressão desejadas. Com os valores das relações a/c é possível calcular os módulos de elasticidade do concreto de referência e concretos com 50 e 100% de substituição de agregados naturais pelos reciclados, bem como as suas características, tais como consumo de cimento (C) e traço, em massa (m).

Resistência à compressão

Os diagramas de dosagem referentes à resistência à compressão para os concretos CRE, 50AMR e C100AMR são apresentados nas Figuras 69 a 71.

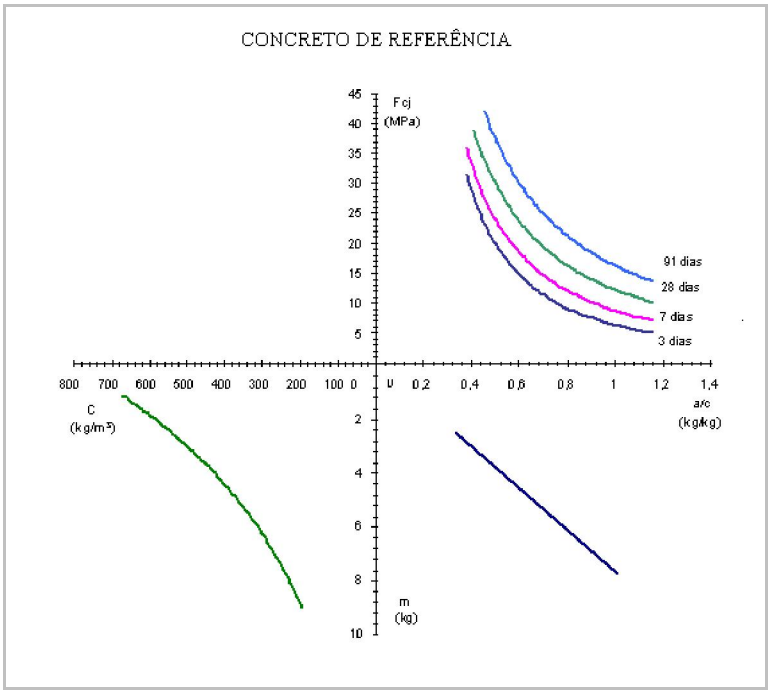


Figura 69 – Diagrama de dosagem para o CRE relativo a resistência á compressão.

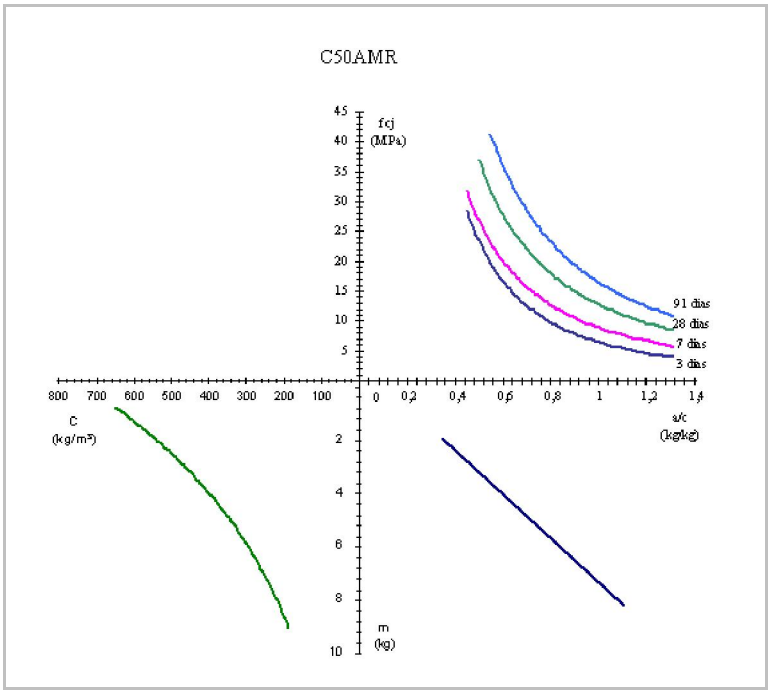


Figura 70– Diagrama de dosagem para o C50AMR relativo a resistência á compressão

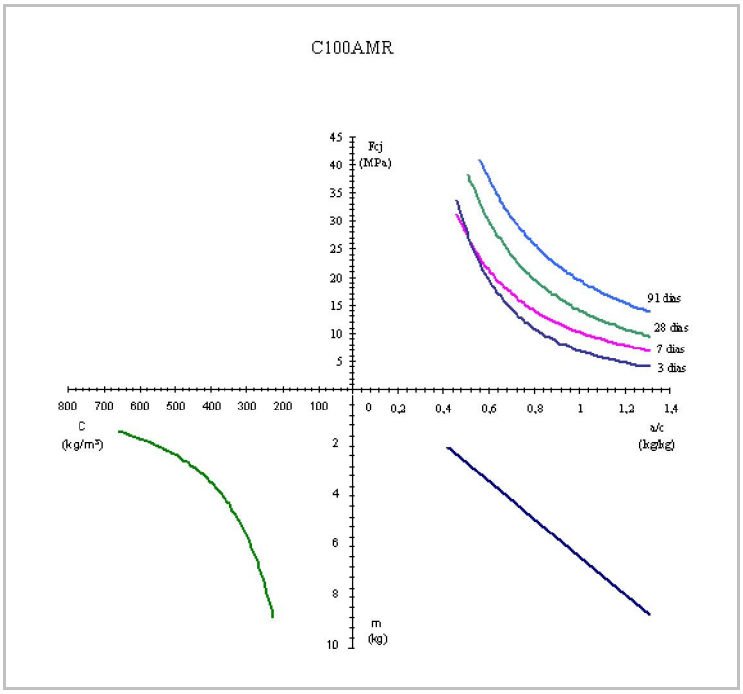


Figura 71 – Diagrama de dosagem para o C100AMR relativo à resistência á compressão

As equações de dosagem relativas à resistência à compressão são apresentadas nas tabelas 35 e 36.

Tabela 35 – Equações de dosagem – Resistência à compressão em função da relação a/c.

Concreto	Equações			
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
CRE	$fc_3 = \frac{69,35}{12,34^{a/c}}$	$fc_7 = \frac{73,46}{9,44^{a/c}}$	$fc_{28} = \frac{130,92}{18,10^{a/c}}$	$fc_{91} = \frac{92,45}{6,20^{a/c}}$
C50AMR	$fc_3 = \frac{81,4}{13,70^{a/c}}$	$fc_7 = \frac{77,90}{9,41^{a/c}}$	$fc_{28} = \frac{102,14}{8,57^{a/c}}$	$fc_{91} = \frac{133,61}{8,68^{a/c}}$
C100AMR	$fc_3 = \frac{82,49}{12,15^{a/c}}$	$fc_7 = \frac{64,08}{6,42^{a/c}}$	$fc_{28} = \frac{93,53}{6,77^{a/c}}$	$fc_{91} = \frac{117,82}{6,32^{a/c}}$

Tabela 36 – Equações de dosagem – teor de agregados secos (m) em função da relação a/c; teor de agregados secos (m) em função do consumo de cimento.

Concreto	Quadrante de Lyse		Quadrante de Molinari	
CRE	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 7{,}78 \times a/c - 0{,}11$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0{,}34 + 0{,}5 \times m}$
C50AMR	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 8{,}3 \times a/c - 1{,}00$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0{,}47 + 0{,}5 \times m}$
C100AMR	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 7{,}47 \times a/c - 1{,}1$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0{,}48 + 0{,}52 \times m}$

Módulo de elasticidade

Os diagramas de dosagem referentes ao módulo de elasticidade dos concretos CRE, C50AMR, 100AMR são apresentados na Figuras 72 a 74.

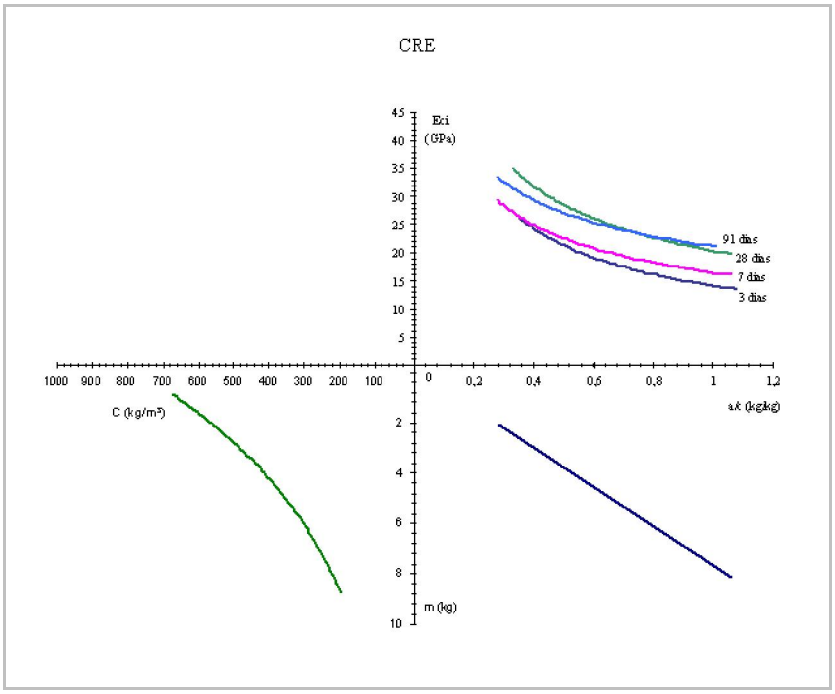


Figura 72 – Diagrama de dosagem para o CRE relativo ao módulo de elasticidade

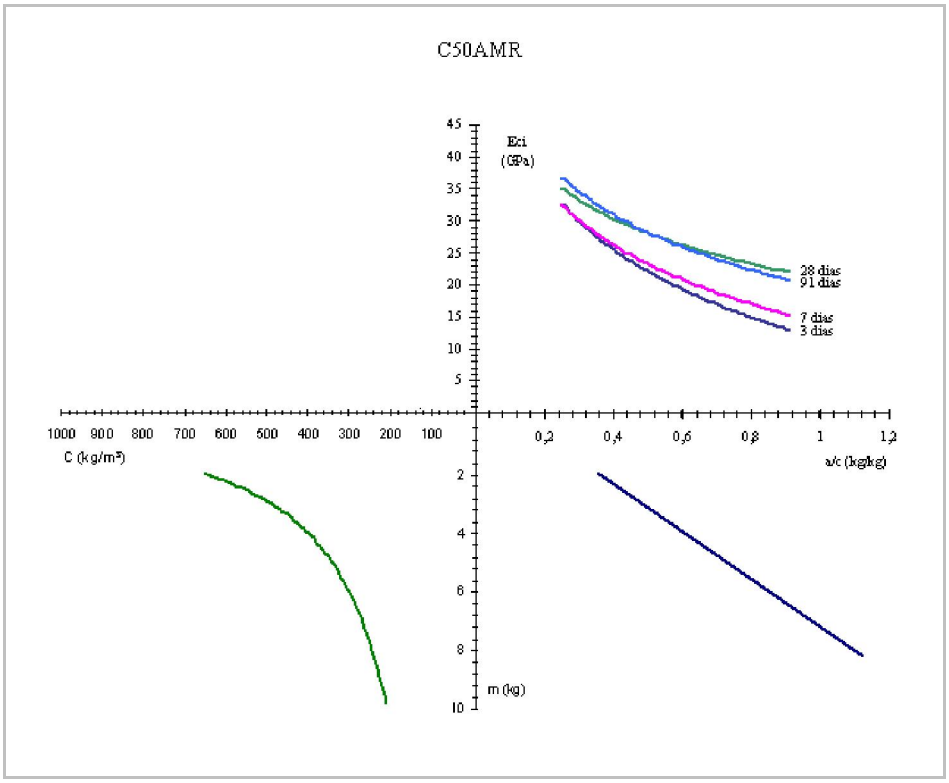


Figura 73 – Diagrama de dosagem para o C50AMR relativo ao módulo de elasticidade.

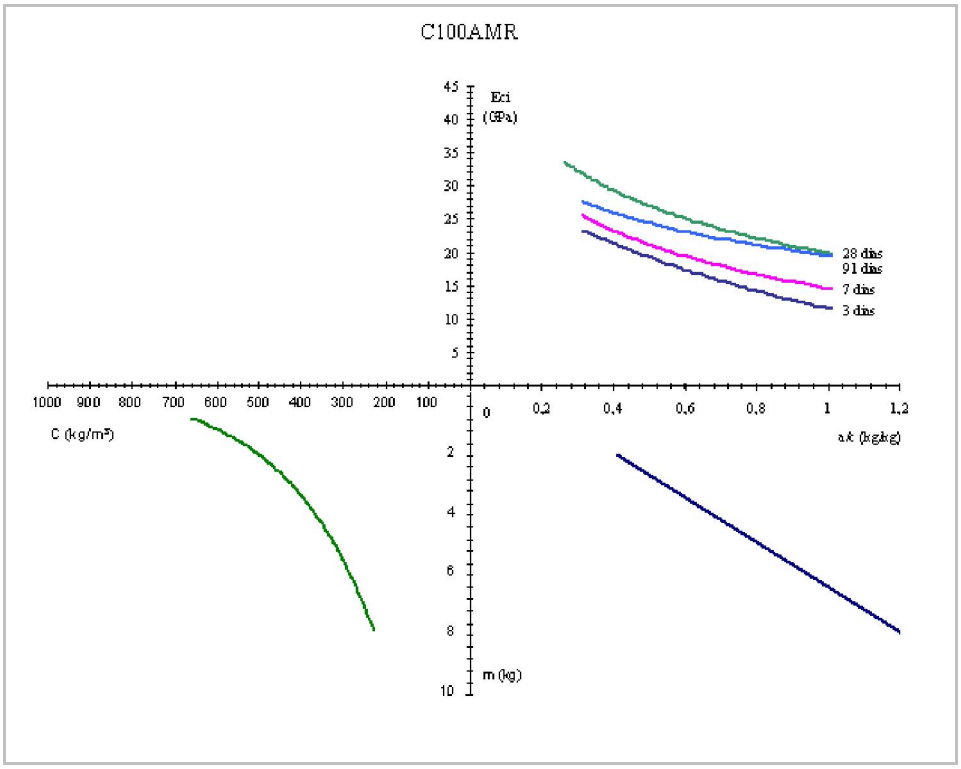


Figura 74 – Diagrama de dosagem para o C100AMR relativo ao módulo de elasticidade

As equações de dosagem referentes ao módulo de elasticidade para os concretos CRE, C50AMR, C100AMR, são apresentados nas Tabelas 37 e 38.

Tabela 37 – Equações de dosagem do módulo de deformação do concreto de referência em função da relação a/c.

Concreto	Equações $y = f(x) \quad Ec_i = f(a/c)$			
	3 dias	7dias	28 dias	91 dias
CRE	$Ec_3 = \frac{33,36}{2,46^{a/c}}$	$Ec_7 = \frac{32,20}{2,03^{a/c}}$	$Ec_{28} = \frac{41,89}{2,15^{a/c}}$	$Ec_{91} = \frac{35,23}{1,69^{a/c}}$
C50AMR	$Ec_3 = \frac{42,94}{3,76^{a/c}}$	$Ec_7 = \frac{39,78}{2,91^{a/c}}$	$Ec_{28} = \frac{37,20}{1,79^{a/c}}$	$Ec_{91} = \frac{41,25}{2,15^{a/c}}$
C100AMR	$Ec_3 = \frac{32,03}{2,77^{a/c}}$	$Ec_7 = \frac{29,61}{2.04^{a/c}}$	$Ec_{28} = \frac{35,28}{1,78^{a/c}}$	$Ec_{91} = \frac{29,96}{1,54^{a/c}}$

Tabela 38 – Equações de dosagem do módulo de elasticidade do concreto. Teor de agregados secos em função da relação a/c – Consumo de cimento em função do teor de agregados secos.

Concreto	Quadrante de Lyse		Quadrante de Molinari	
CRE	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 7,78 \times a/c - 0,11$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0,34 + 0,5 \times m}$
C50AMR	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 8,3 \times a/c - 1,00$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0,42 + 0,5 \times m}$
C100AMR	$y = f(x)$ $m = f(a/c)$	$m = 7,47 \times a/c - 1,1$	$y = f(x)$ $C = f(m)$	$C = \frac{1000}{0,46 + 0,52 \times m}$

4.6.1 Análise de propriedades dos concretos estudados

Após a montagem dos diagramas de dosagem e equações que permitem calcular os valores de a/c de um concreto fixando-se parâmetros como resistência à compressão, montou-se exemplos pontuais para comparação do comportamento dos concretos reciclados e de referência, fixando-se a resistência a compressão aos 28 dias, relação a/c em 0,6 e consumo de cimento em 350 kg/m³, tais escolhas foram realizadas por serem parâmetros comumente utilizados nas obras brasileiras.

A resistência à compressão é sem dúvida o parâmetro mais utilizado para o estudo do concreto, logo se elaborou um exemplo pontual fixando a resistência à compressão em 30Mpa aos 28 dias.

Utilizando as equações apresentadas na Tabela 35 e estabelecendo a resistência à compressão fc_{28} = 30 Mpa, encontrou-se a relação a/c = 0,509 para o CRE, a/c = 0,569 para C50AMR e a/c = 0,593 para o concreto C100AMR. Determinado o valor da relação a/c foi possível o cálculo das demais propriedades dos concretos, que estão apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39 – Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se a resistência à compressão fc_{28} = 30 Mpa.

Concreto	**Fc_{28dias} (Mpa)**	**a/c**	**m**	**$C_{ciment\ o}$ (kg/m³)**	**Ec (GPa)**	**A%**	**$M_{específica}$ (kg/dm³)**
CRE	30	0,509	3,85	441	28,37	10,49	2,36
C50AMR	30	0,569	3,72	439	26,76	12,05	2,32
C100AMR	30	0,593	3,33	456	25,06	13,69	2,24

Pode-se observar na Tabela 39 que para se atingir um mesmo valor de resistência à compressão, é necessário um aumento do consumo de água na mistura do concreto com 100% de agregado reciclado, devido à maior porosidade, quantidade de finos e massa específica do material. Conseqüentemente, há também um incremento no valor do consumo de cimento, aumentando o custo do material. Contudo na mistura em que houve a substituição de 50% do agregado natural pelo reciclado não houve praticamente alterações nos valores do consumo de cimento, chegando a apresentar até melhores resultados, apesar do maior consumo de água, cerca de 10%, houve uma redução no consumo de cimento e um aumento da plasticidade do material (A% = 13, 69).

No que diz respeito à massa específica, houve a diminuição deste parâmetro nos concretos reciclados, o que pode estar relacionado à alta porosidade e menor massa específica do agregado reciclado.

A Tabela 40 apresenta os valores teóricos encontrados para os concretos de referência, com 50% e 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado fixando-se o valor de relação a/c em 0,6, através das equações apresentadas na Tabela 34.

Tabela 40 – Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se a relação a/c = 0,6.

Concreto	**a/c**	**Fc_{28dias} (Mpa)**	**m**	**$C_{ciment\ o}$ (kg/m³)**	**Ec (GPa)**	**A%**	**$M_{específica}$ (kg/dm³)**
CRE	0,6	23,00	4,558	382	26,46	10,79	2,35
C50AMR	0,6	28,00	3,98	415	26,2	12,05	2,32
C100AMR	0,6	29,60	3,382	450	25,0	13,69	2,24

Verifica-se, na Tabela 40, que as misturas com 50% de AMR apresentaram valores teóricos de massa específica e módulo de elasticidade muito próximos ao concreto de referência e ainda, um aumento da plasticidade do concreto com agregado reciclado, cerca de 2%.

É consenso na literatura que misturas de concretos que utilizam agregado reciclado necessitam de maior quantidade de água para atingir a trabalhabilidade desejada (LEITE, 2001; LEVY, 2001, BUTTLER 2003; ANGULO, 2005, FONSECA, 2006). Verifica-se na Tabela 39 que ao se fixar a relação a/c há uma alteração no traço da mistura, com diminuição da massa de agregado e um aumento no consumo de água por m³ de concreto (230 l/m³ para o CRE, 249l/m³ para C50AMR, 270l/m³ para C100AMR), conseqüentemente há o aumento do consumo de cimento na mistura com concreto reciclado. Apesar do aumento do consumo de água dos concretos reciclados, 10% para o C50AMR e 18% C100AMR, houve o aumento do valor da resistência à compressão.

A Tabela 41 apresenta os valores teóricos encontrados para os concretos estudados impondo-se um mesmo consumo de cimento (350kg/m³), tais resultados foram encontrados através das equações apresentadas na Tabela 35, obtidas por meio do estudo de dosagem realizado durante a pesquisa experimental.

Tabela 41 – Propriedades teóricas dos concretos estudados, fixando-se o consumo de cimento C_{cim} = 350 kg/m³.

Concreto	**C_{cim} (kg/m³)**	**Fc_{28dias} (Mpa)**	**a/c**	**m**	**Ec (GPa)**	**A%**	**$M_{específica}$ (kg/dm³)**
CRE	350	19,30	0,661	5,034	25,26	10,95	2,34
C50AMR	350	22,2	0,708	4,874	24,6	12,05	2,30
C100AMR	350	21,6	0,764	4,610	22,7	13,62	2,23

Observa-se na Tabela 41, que ao manter-se o mesmo consumo de cimento nas misturas de concreto, não há alterações significativas nos valores de resistência à compressão, sendo que o concreto reciclado apresentou superior desempenho quando comparado com o convencional, apesar do maior consumo de água na mistura.

Como discutido no item 4.5.2 na utilização de materiais porosos, como os agregados reciclados de RCC, em misturas de concreto, há uma absorção de parte da água de amassamento pelo material reciclado, podendo promover um cura interna e diminuição da água livre na mistura, acarretando um aumento na resistência à compressão (NEVILLE, 1995; MACHADO Jr. et al., 1998).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de resíduo da construção civil utilizada nesta pesquisa apresentou variabilidade de seus constituintes, evidenciando predominância de concreto em sua composição (69%), apresentando também uma quantidade significativa de material cerâmico e argamassa (28%).

Os ensaios caracterização realizados no agregado miúdo reciclado permitiu conhecer as suas propriedades. Em relação à composição granulométrica do AMR, revelou-se um material de granulométrica contínua. Inicialmente apresentava um aspecto mais grosso que o agregado natural, contudo após a correção da granulometria, apresentou-se mais fino comparado ao agregado natural, com valor de módulo de finura e diâmetro máximo inferiores.

O teor de material pulverulento verificado no agregado miúdo reciclado apresentou-se aproximadamente oito vezes maior quando compara do ao agregado natural. Ainda assim não apresentou prejuízos nas misturas de concreto com agregado reciclado.

A massa específica e unitária do agregado reciclado foi 4,0 e 18,0% menor do que os valores obtidos para o agregado natural.

A taxa de absorção de água do agregado miúdo reciclado foi de 10,8%, bastante elevada, o que acarreta o aumento do consumo de água durante a mistura, contudo não apresentou prejuízos para as suas propriedades mecânicas.

A partir da dosagem experimental foi possível encontrar os teores ideais de argamassa, que se apresentaram maiores à medida que se adicionou agregado reciclado na mistura. A relação a/c também apresentou mesma tendência de crescimento com o aumento de agregado reciclado durante a confecção do concreto, a dificuldade de se atingir a trabalhabilidade e abatimento do concreto reciclado apresentou-se proporcional ao aumento dos teores de substituição agregado reciclado de RCC.

A massa específica do concreto reciclado no estado fresco apresentou-se menor quando comparada ao valor do agregado natural, apresentando valores até 4% menores. Duas propriedades intimamente ligadas à massa específica do concreto são o consumo de água e

absorção de água, que apresentaram índices maiores à medida que houve o incremente de agregado reciclado na mistura. A diminuição da massa específica, o aumento do consumo e absorção de água, também pode ser atribuída à menor massa específica, maior absorção e grande quantidade de pasta aderida dos agregados reciclados.

A resistência à compressão dos concretos reciclados apresentou-se menor que no de referência, contudo a diferença foi pequena considerando que houve o aumento significativo de água nas misturas, elevando consideravelmente o consumo de água, conseqüentemente a relação a/c. Este fato foi atribuído à elevada quantidade de água absorvida pelo agregado reciclado durante a dosagem, sendo que, na realidade os concretos reciclados apresentam menor relação a/c do que os valores calculados, porém como não houve o pré-umedecimento e o controle da absorção de água, não é possível mensurar a quantidade de água absorvida.

Em relação ao módulo de elasticidade, no geral os concretos reciclados apresentaram valores inferiores aos de referência, contudo não apresentou grande influência nas misturas em que houve a substituição parcial (50%) do AMR pelo natural.

Depois de obtidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação, foram construídos diagramas de dosagem, onde foi possível estudar as correlações entre as propriedades mecânicas dos concretos estudados e as variáveis que influenciam estes parâmetros. A partir dos diagramas de dosagem da resistência à compressão x a/c (Lei de Abrams), determinou-se as equações que permitem calcular os valores das relações a/c para as resistências à compressão desejadas.

Fixando-se o valor de resistência à compressão em 30 MPa, percebeu-se, na mistura com substituição de 50% do agregado natural pelo reciclado, que não houve praticamente alterações nos valores do consumo de cimento e apresentando ainda um aumento da plasticidade do material (A% = 13, 69), chegando ainda a apresentar melhores resultados de resistência à compressão, apesar do maior consumo de água,.

Ao se fixar a relação a/c em 0,6 houve um aumento no valor da resistência à compressão dos concretos reciclados.

Ao manter-se o mesmo consumo (350 kg/m³) de cimento nas misturas de concreto, não houve alterações significativas nos valores de resistência à compressão, sendo que o concreto reciclado apresentou superior desempenho quando comparado com o convencional, apesar do maior consumo de água na mistura.

Conclui-se que é possível a utilização do agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil para a produção de concreto sem grandes prejuízos nas suas propriedades mecânicas. Porém a sua aplicação em concretos estruturais requer um controle no momento de dosagem e estudos aprofundados em relação à durabilidade este material. Além disso, devem ser consideradas outras propriedades mecânicas que não foram avaliadas no presente estudo.

É necessário que sejam criadas normas e metodologias de padronização do método de dosagem e ensaio para agregados e concretos reciclados, para que haja a padronização da avaliação das propriedades deste material, cuja utilização trás benefícios imensuráveis ao meio ambiente.

5.1 PROPOSTA PARA FUTURAS PESQUISAS

- Avaliar a possibilidade da existência da reação álcalis agregados nos agregados reciclados;

- Realizar um estudo dos métodos de dosagem existentes que possam ser aplicados em concretos reciclados, levando em consideração os ajustes do consumo de água necessário durante a mistura;

- Avaliar a influência do teor de material pulverulento presente no agregado reciclado nas propriedades do concreto;

- Avaliar as propriedades referentes à durabilidade dos concretos reciclados, tais como profundidade de carbonatação, resistência aos ataques de agentes agressivos, mecanismo de transporte interno de água, entre outros.

- Avaliar a influência na interface da matriz da pasta de cimento e agregados (zona de transição) nos concretos reciclados;

- Avaliar a produção de concretos reciclados com a utilização de aditivos;

- Estudo comparativo das vantagens e desvantagens ambientais e econômicas da utilização do agregado reciclado de RCC como para a produção de concretos.

- Estudo da micro-estrutura do concreto com agregados reciclados;

- Avaliar o comportamento mecânico de concretos produzidos com resíduos obtidos em obras na fase de acabamento.

REFERÊNCIAS

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados.** São Paulo: USP. 2000. 155 p Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos.** São Paulo: USP, 2005. 167p. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo

ARAÚJO Jr, Eurico de Lira. **Uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em estacas de compactação para melhoramento de solos.** Recife. UPE, 2010. 166p. Dissertação (meatrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2010. Disponível em: <www.abelpre.org.br/dowloads/panorama2010.pdf>. Acesso em abr 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5739**. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 7211**: agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**. Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**. Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11 578**. Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1511 5**. Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 30**. Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2006. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53**. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003

BARBOSA, Anderson H. Estudo da aplicação de resíduo cerâmico como substituto parcial do aglomerante e do agregado miúdo do concreto. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. **Anais...** Curitiba**:** IBRACON, 2009, 13p. CD-ROM.

BARBOSA JR. Álvaro Sergio. **Estudo da utilização de agregado reciclado em misturas de concreto de cimento portland para pavimentação.** Campinas: UNICAMP. 2008. 118p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas.

BARRA, M. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado**. Barcelona: UPC, 1996. 223 p. Tese (doutorado). Escola técnica Superior d'Énginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politécnica de la Catalunya.

BERNARDES, Alexandre; THOMÉ, Antônio; PRIETTO; Pedro Domingos Marques; ABREU; Águida Gomes de. Quantificação e classificação de resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído.** Porto Alegre. v. 8. nº 3. p 65- 73. jul./out. 2008. INSS 1678-8621.

BERNHOEFT, Luiz Fernando. **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassa com gesso reciclado**. Recife: 2010. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – UPE/POLI.

BRITO, J. de; PEREIRA, A. S.; CORREIA, J. R. Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates. **Cement & Concrete Composites.** Lisbon, Portugal. v.27. 429–433p. 2005.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Concreto com agregado graúdo reciclado – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** São Carlos: USP. 2003. Dissertação (mestrado). Escola de engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural.** São Carlos: USP. 2007. Tese (doutorado). Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 499 p.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** São Carlos: USP. 2007. Dissertação (Mestrado). Escola de engenharia de São Carlos.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. C. E.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, A. S.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P. V.; COSTA, D. B. Características do Entulho e do Agregado Reciclado. **In: PROJETO ENTULHO BOM**. EDUFBA/Caixa Econômica Federal, Salvador, 2001, p. 142-187.

CARNEIRO, Fabiana Padilha. **Diagnóstico e ação da atual situação dos resíduos da construção e demolição na cidade do Recife**. João Pessoa:UFPB, 2005. 131p. Dissertação (mestrado), Universidade Federal da Paraíba.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos da construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** São Paulo: USP, 2005. 129p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2002). **Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002.** Diretrizes e Procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Acesso em:

CORDOBA, Rodrigo Eduardo. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos da construção civil e demolição do município de São Carlos-SP**. São Carlos: USP, 2010. 372 p. Dissertação (mestrado). Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. 3.ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997. 3v. v.1. 401p.

CRENTISIL, KK Sagol; BROWN, T.; TAYLOR, AH. Performace of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. **Cement and Concrete**. 2001. Victoria (Austrália). 707-712p. 2001.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – DIEESE. **Boletim Trabalho e Construção**: Apesar do Desaquecimento da Economia, Geração de Postos de Trabalho na Construção Civil Mantém Crescimento. Ano 1, Nº 2. Set, 2009.

DESSY, P.; BADALUCCO, C.; BIGNAMI, F. C.; at al. Analysis of performances of concrete components made with recycled aggregates. In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gävle, Sweden. **Proceedings...** Gävle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998. Symposium A., 2v. v. 1, p.149–156.

DIAS, João Fernando. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para o seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo: USP, 2004. 251p. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability performace of concrete made with tine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites.** 2010. v. 32. 9-14p.

FIESP. Brasil 2022: planejar, construir, crescer. IN: Congresso Brasileiro da Construção - CONSTRUBUSINESS. 9. **Caderno técnico Construbussines 2010**. São Paulo: FIESP. 2010. 229p.

FONSECA, Adriana Pinheiro. **Estudo comparativo de concretos com agregado graúdo reciclado de telha cerâmica e agregado graúdo natural.** Uberlândia: UFU, 2006. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Departamento de engenharia de estruturas.

GUSMÃO, A D. **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil**. Recife: Gráfica Editora, 2008. 140 p.

GOUVEIA, Lilian Taís de. **Contribuição ao estudo da influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas.** São Carlos: USP, 2006. 309 p. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

GRUBA, David Christian Regis Pereira. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária.** São Paulo: USP, 2009. 139p. Dissertação (mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de transportes, Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and mansory**. London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, 1993. 349p.

JI CHEN, How; YEN, Tsong; HUNG CHEN, Kuan. Use of building rubbles as recycled aggregates. **Cement and concrete.** V 33. 2003. 125-132p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. São Paulo: USP, 2000. 113p. Tese (Livre Docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC).

LEITE, Fabiana da Conceição**. Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. São Paulo: USP, 2007. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição.** Porto Alegre: UFRGS. 2001. 290p. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LEITE; Mônica Batista; LIMA, Paulo Roberto Lopes. Efeito da interação entre agregado graúdo, agregado miúdo e fator água-cimento sobre a resistência à compressão do concreto reciclado. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. **Anais...** Curitiba**:** IBRACON, 2009, 13p. CD-ROM.

LEVY, Salomon Mony. **Reciclagem do entulho da construção Civil, para utilização como agregados para argamassas e concretos**. São Paulo: USP, 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LEVY. Salomon Mony. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e argamassa.** São Paulo: USP, 2001. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LEVY, Salomon. Mony; HELENE, Paulo Roberto Lago. Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry. In: CIB SYMPOSIUM IN ONSTRUCTION

AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. **Proceedings...**[CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 12p.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos: USP, 1999. 246p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LOVATO, Patrícia Silveira. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. Porto Alegre: UFRGS. 2007. 180p. Dissertação (mestrado). Universidade federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pás Graduação em engenharia civil.

MACHADO Jr, E. F.; AGNESINI, M. V. C. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de microconcretos leves produzidos com argila expandida e com agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29. 2000, Punta del Este, Uruguai. **Memórias...** [CD-ROM]. Punta del Este: EDITOR, 2000, 12p

MARQUES NETO, José da Consta. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande**. São Paulo: USP, 2009. Tese (doutorado). Escola de engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo.

MEHTA, Kumar P.; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, Kumar P.; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 1ª Ed, São Paulo: IBRACON. 2008. 674p.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback. **Estudos de fatores que influenciam na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** São Paulo: USP. 2000. 172p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de construção civil. São Paulo.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil.** São Paulo: USP. 2005. 172p. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de construção civil.

MORAIS, G. M. D; **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma:** gestão sustentável. Uberlândia: UFU. 2006. 201 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia.

MOTTA, Rosangela dos Santos. **Estudo laboratorial de agregados reciclados de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** São Paulo: USP, 2005. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de transportes.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1995

NEVILLE, A. M. **The question of concrete durability**: we can make good concrete today. Concrete International, v.22, n. 07, p. 21-26, 2000..

NORONHA; Joselita Portela; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. **Anais...** Curitiba**:** IBRACON, 2009, 13p. CD-ROM.

NUNES, Wesley Carlos. **Influência do agregado graúdo reciclado de resíduos da construção predial nas propriedades do concreto fresco e endurecido**. Goiânia: UFG, 2007. 200p. (Dissertação mestrado). Escola de engenharia civil da universidade federal de Goiás.

OLIVEIRA, Marcio Joaquim Estefano. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. Rio Claro: UNESP, 2002. 191 p. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

PASSOS, Luciano; PINTO JR.; Newton de Oliveira; RAMOS, Marcelo Francisco. Dosagem Experimental de Concretos de Resíduos Cerâmicos. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. **Anais...** Curitiba**:** IBRACON, 2009, 13p. CD-ROM.

PETRICCI. E. G. R. **Concreto de comento portland.** São Paulo: Editora Globo. 2005. 14 ed.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. São Carlos: USP, 1986. 140p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana.** São Paulo: USP, 1999. 189p.Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

POON, C. S.; SHIWI, Z.H.; LAM, L.; FORK, H; SLOW, S. C. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. **Cement and Concrete Research.** 2004. v 34.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**. N. 27, p. 5557-9, 1994.

SANI, D.; MORICONI, G.; FAVA G.; CORINALDESI, V. Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. **Waste Management.** v. 25. 177–182p. 2000.

SANTOS, E. C. G. dos. **Aplicação de Resíduos da Construção e Demolição reciclados (RCD-R) em Estruturas de Solos Reforçados**. São Carlos: 2007. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SILVA, Thalita Cristina Rodrigues; FUCALE, Stela Paulino; GUSMÃO, Alexandre Duarte; FERREIRA, Silvio Romero de Melo. Caracterização e Resistência em Resíduos da Construção Civil. In: Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica. **Anais...**Búzios:ABMS. 2008.

SOBERÓN, J. M. G. Porosity of concrete with substitution of recycled concrete aggregate an experimental study. **Cement and concrete research**. v. 32. 1301-1311p. 2002.

SOUSA, JOSÉ GETULIO GOMES **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto:** Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado. Distrito Federal, 2001, 120p. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

SOUZA; Luziane Marques; CABRAL; Antonio Eduardo B. Avaliação da absorção de água de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO – IBRACON. 2009.

TAVARES, Liliana de Paula Martins. DIAS, João Fernando. Reflexo das ações corretivas nos impactos dos resíduos da construção no espaço urbano em cidade de pequeno porte. IN: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). **Anais...** Fortaleza: ENTAC. 2008. ISNN: 978-85-89-478-27-4.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. ACI Materials Journal, v. 93, n. 2, p. 182-190, 1996.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. **Avaliação das propriedades do concreto com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição visando aplicações estruturais**. Maceió:UFAL, 2007. 138p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas.

ULSEN, Carina. **Caracterização tecnológica de resíduos da construção e demolição.** São Paulo, 2006. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia de minas e petróleo.

VAN DER WEGEN, G.; HEVERKORT, R. Recycled construction and demolition wastes as a fine aggregate for concrete. In: **DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C.** (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 333-345.

VIEIRA, Geilma Lima **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre: UFRGS, 2003 150 p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIEIRA, Geilma Lima, MOLIN, Denise Carpena Coutinho Dal. Ontribuição ao Estudo e Análise de Variabilidade da Utilização de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição, In: ANAIS DO II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes. **Anais...** Porto Alegre.2004

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto.** Campinas, 1997. 156p. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil**. http\:www.recycle.pcc.usp.br/fichatécnica.htm. 2000 (acessado em dezembro de 2009).