

**CECÍLIA MAKIKO UEDA**

**ESTUDO SOBRE O USO DE AGREGADOS RECICLADOS NA COMPOSIÇÃO  
DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

Guaratinguetá  
2015

**CECÍLIA MAKIKO UEDA**

**ESTUDO SOBRE O USO DE AGREGADOS RECICLADOS NA COMPOSIÇÃO  
DE CONCRETOS E ARGAMASSAS**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: José Bento Ferreira.

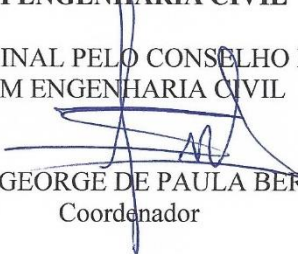
Guaratinguetá  
2015

U22e	<p>Ueda, Cecília Makiko</p> <p>Estudo sobre o uso de agregados reciclados na composição de concretos e argamassas. / Cecília Makiko Ueda – Guaratinguetá : [s.n], 2015.</p> <p>61 f. : il.</p> <p>Bibliografia : f. 36-38</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Bento Ferreira</p> <p>1. Construção civil 2. Resíduos sólidos 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) 4. Concreto 5. Argamassa I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 69</p>
------	--


**CECÍLIA MAKIKO UEDA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

  
Prof. GEORGE DE PAULA BERNARDES  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. JOSÉ BENTO FERREIRA  
Orientador/UNESP-FEG

  
Profª. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN  
UNESP-FEG

  
Profª. MÁRCIA REGINA DE FREITAS  
UNESP-FEG

**Dezembro de 2015**

UEDA, C. M. **Estudos sobre o uso de agregados reciclados na composição de concretos e argamassas**. 2015. 61 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## **RESUMO**

Entre os principais problemas causados pela atividade de construção civil estão a geração de resíduo de construção e demolição (RCD) e a exploração de jazidas, que ocasionam grandes impactos no meio ambiente. Para tanto, a reciclagem tem se mostrado como alternativa para amenizar a ação nociva dos resíduos no ambiente urbano e evitar a exploração de novas matérias primas. O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo do comportamento dos agregados reciclados de RCD do Vale do Paraíba em concreto e em argamassa. Inicialmente, são apresentadas as definições dos agregados reciclados de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, as definições de agregados para concreto e argamassa (tais como dimensão dos grãos, sua origem e massa específica, e demais parâmetros de caracterização segundo a norma ABNT), e a definição do método de dosagem ACI para a dosagem do concreto. Posteriormente, são apresentadas as caracterizações dos materiais separadas por ensaios. Em seguida, mostra-se a dosagem teórica aplicando-se o método ACI e a dosagem laboratorial. Então, é realizada a análise dos resultados para finalmente concluir que os materiais fornecidos não podem ser utilizados para substituir os agregados naturais, pois não conseguem obter os mesmos desempenhos. Com os estudos, verificou-se que o agregado reciclado apresenta uma grande complexidade e diversidade em sua origem, e que por isso a forma como esse material deve ser trabalhado exige maior cuidado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção civil. Resíduos. Reciclagem. Agregados reciclados. Concreto. Argamassa.

UEDA, C. M. **Studies of recycled aggregates in composition of concretes and mortars.** 2015. 61 p. Graduate Work (Graduation in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

Two of the major problems caused by construction activity are the production of construction and demolition waste (CDW) and the exploitation of mineral resources, causing big impacts on the environment. Therefore, the recycling has been shown as an alternative to mitigate the harmful effects of waste on the urban environment and prevent the exploitation of new raw materials. This course work aims to study the behavior of recycled aggregates from Vale do Paraíba in concrete and mortar. Initially, it presents the definitions of recycled aggregates according to CONAMA Resolution No. 307/2002, the aggregate settings for concrete and mortar (such as the grain size, its origin and density, and the characterization parameters according to ABNT), and the definition of ACI method of concrete mix design. Afterwards, it presents the characterization of materials separated by assays. After that, it shows the theoretical concrete proportioning applying the ACI method and experimental concrete proportioning. Then, the analysis of results is performed to finally conclude that the materials provided can't be used to replace natural aggregates because they cannot have the same performance. With the studies, it could be observed that the recycled aggregate presents a great complexity and diversity in origin, therefore the form how the material should be handled requires great care.

**KEYWORDS:** Civil construction. Waste. Recycling. Recycled aggregates. Concrete. Mortar.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva granulométrica da areia fornecida pela AB areias.....	16
Figura 2 – Curva granulométrica da areia fornecida pela RCC Ambiental.....	17
Figura 3 – Curva granulométrica do agregado graúdo fornecido pela AB areias .....	17
Figura 4 – Foto tirada da solução padrão à esquerda, e solução da amostra à direita. ....	20
Figura 5 – À frente o comparador colorimétrico e atrás a solução com a amostra. ....	20
Figura 6 - material cerâmico encontrado em 300g de amostra.....	21
Figura 7 - Amostra separada em diferentes materiais .....	22
Figura 8 - Amostra separada em cimento e concreto .....	22
Figura 9 - Amostra separada em tijolo .....	23
Figura 10 - Amostra separada em cerâmica branca, cerâmica vermelha e lixo .....	23
Figura 11 - Determinação do fator A/C.....	27
Figura 12 - Agregado graúdo envolvido por camada de argamassa.....	30
Figura 13 - Conjunto de peneiras sobre um agitador mecânico .....	45
Figura 14 - Frasco de Chapman.....	46
Figura 15 - Frasco de Chapman com amostra de areia e água .....	47
Figura 16 - Recipiente metálico com amostra de areia .....	48
Figura 17 - Recipiente metálico .....	49
Figura 18 - Recipiente metálico com agregado graúdo .....	49
Figura 19 - Lavagem da amostra de areia.....	50
Figura 20 - Amostra de areia lavada.....	51
Figura 21 - Material seco em estufa .....	51
Figura 22 - Comparação da coloração entre a solução padrão (à direita) e solução com a amostra (à esquerda).....	52
Figura 23 - Comparação da coloração da solução da amostra com um comparador colorimétrico.....	53
Figura 24 - Material cerâmico separado por método de catação.....	53
Figura 25 - Corpos de prova com areia normal (à esquerda) e com amostra de areia (à direita) .....	55
Figura 26 - Argamassa colocada no molde .....	56
Figura 27 - Molde preenchido e realizado a rasadura .....	56
Figura 28 - Corpos de prova imersos na água .....	57
Figura 29 - Rompimento do corpo de prova utilizando uma prensa manual .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do agregado graúdo da RCC Ambiental.....	21
Tabela 2 – Consumo de água.....	26
Tabela 3 - Consumo de agregado graúdo .....	28
Tabela 4 - Resistência à compressão das argamassas aos 21 dias.....	31
Tabela 5 - Resistência à compressão dos corpos de prova com amostra de areia.....	32
Tabela 6 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	59
Tabela 7 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	59
Tabela 8 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação a massa do material.....	60
Tabela 9 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação a massa do material.....	60



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
3.1	AGREGADO RECICLADO .....	11
3.2	AGREGADOS PARA CONCRETO E ARGAMASSA.....	11
<b>3.2.1</b>	<b>Quanto à dimensão dos grãos.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Quanto à origem .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Quanto à massa específica .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Parâmetros de caracterização dos agregados .....</b>	<b>14</b>
3.3	DOSAGEM DO CONCRETO .....	14
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....</b>	<b>16</b>
4.1	ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA ....	16
4.2	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN .....	18
4.3	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADOS GRAÚDOS .	18
4.4	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL EM AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN .....	18
4.5	DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO EM ESTADO SOLTO .....	18
4.6	DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA COMPACTADA DO AGREGADO GRAÚDO .....	19
4.7	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS .....	19
4.8	DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS EM AGREGADOS MIÚDOS .....	19
4.9	DETERMINAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR MATERIAL CERÂMICO .....	21

4.10	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO RECICLADO GRAÚDO POR ANÁLISE VISUAL.....	21
<b>5</b>	<b>DOSAGEM .....</b>	<b>24</b>
5.1	DOSAGEM TEÓRICA .....	24
5.2	DOSAGEM LABORATORIAL .....	29
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>
	<b>APÊNDICE A – METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE B – DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO A – TABELAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO B – TABELAS DE LIMITES MÁXIMOS ACEITÁVEIS DE SUBSTÂNCIAS NOCIVAS NOS AGREGADOS.....</b>	<b>60</b>

## INTRODUÇÃO

Entre os principais impactos causados pela atividade de construção civil estão a geração do resíduo de construção e demolição (RCD) em centros urbanos (HOOD, 2006) e a exploração de jazidas.

Segundo PAULA (2010), tanto no Brasil como no exterior, os resíduos de construção e demolição (RCD) representam entre 13 a 67% em massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU), equivalente a aproximadamente 2 a 3 vezes a massa de resíduo urbano, estimado para uma quantia de 68,5 milhões de toneladas por ano.

Esse tipo de resíduo ocasiona um grande impacto no meio ambiente, sendo que disposto de forma inadequada em locais impróprios para esse fim resulta em efeitos deteriorantes do ambiente local. Entre as principais interferências pode-se citar a modificação da paisagem, dificuldade imposta ao tráfego de veículos e pedestre, danificação da drenagem urbana, assoreamento de recursos hídricos, propensão para a disposição de resíduos não-inertes e a proliferação de vetores de doenças (HOOD, 2006).

Para tanto, a reciclagem tem se mostrado como alternativa para amenizar a ação nociva dos resíduos no ambiente urbano, gerando ainda novos produtos comercializáveis. Assim, os agregados reciclados de RCD podem ser utilizados em diferentes novos produtos como argamassas, concretos e blocos de construção (ANGULO, 2000).

Neste trabalho será abordado o estudo do comportamento dos agregados reciclados de RCD do Vale do Paraíba em concreto de cimento Portland e em argamassa, realizando primeiramente as caracterizações dos materiais e, posteriormente, as dosagens de concreto e argamassa.

Foram fornecidos materiais de duas empresas situadas no Vale do Paraíba, sendo uma a empresa AB areias, da unidade de Pindamonhangaba, e a outra RCC Ambiental, localizada em São José dos Campos.

## **2 OBJETIVO**

Realizar o estudo do comportamento dos agregados reciclados de RCD do Vale do Paraíba em concreto de cimento Portland e argamassa.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Serão apresentadas nessa seção as definições dos agregados reciclados segundo a Resolução CONAMA, as definições de agregados para concretos e argamassas, e a definição do método de dosagem ACI para a dosagem do concreto.

#### **3.1 Agregado reciclado**

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, é definido como agregado reciclado o material granular resultante do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas destinadas para obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Conforme a Resolução, os resíduos da construção civil deverão ser classificados como: Classe A – resíduos que posteriormente podem ser utilizados como agregados, que são provenientes de materiais como componentes cerâmicos, argamassa e concreto.

Classe B – resíduos que serão reciclados para outras destinações como plásticos, papel, metais, vidros, madeiras e gesso.

Classe C – resíduos para os quais não foram elaborados tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Classe D – resíduos perigosos como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles que estão contaminados ou que são prejudiciais à saúde.

#### **3.2 Agregados para concreto e argamassa**

É definido como agregado o material granular, não coesivo, de atividades químicas praticamente nulas, composto por misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos (BAUER, 1994).

Segundo FERREIRA (2009), quando os agregados compõem concretos e argamassa acabam tendo função técnica e econômica. Tecnicamente, por apresentarem estabilidade química e física ao longo das reações de cristalização dos aglutinantes e também após, os agregados apresentam a capacidade de limitar a retração e a fissuração durante o desenvolvimento dessas reações. Durante a vida útil das estruturas, os agregados graúdos

mostram a capacidade de restringir a propagação da fissuração surgida da sua solicitação mecânica, através de um efeito de bloqueio e costura ocasionado por sua estrutura apresentar maior dureza do que a argamassa e uma orientação cristalina diversa desta, principalmente no concreto. Devido às limitações provenientes da necessidade de trabalhabilidade e coesão, a proporção de agregados deve ser sempre a maior possível, tanto em concretos quanto em argamassas. Economicamente, por apresentarem custo menor, por volume, do que os aglomerantes, a utilização dos agregados possibilita que se execute uma estrutura resistente com menor custo.

De um modo geral, os agregados para uso em concreto e argamassa podem ser classificados considerando a dimensão dos grãos, a origem e a forma de obtenção do material, e a massa específica do agregado.

### 3.2.1 Quanto à dimensão dos grãos

Para a classificação dos agregados de acordo com o tamanho dos grãos, utilizam-se ensaios de granulometria.

A norma ABNT NBR 7211/2005 classifica os agregados por tamanho em:

- Agregados miúdos: materiais cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m. Os principais exemplos de agregados miúdos são as areias.
- Agregados graúdos: materiais cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Britas e cascalhos são exemplos de agregados graúdos.

Segundo FERREIRA (2009), tanto agregados miúdos quanto agregados graúdos podem ser subdivididos em:

Agregados miúdos:

- Finos:  $2,2 < \text{Módulo de finura} < 2,6$
- Médios:  $2,6 < \text{Módulo de finura} < 2,9$
- Grossos:  $2,9 < \text{Módulo de finura} < 3,2$
- Muito grossos:  $\text{Módulo de finura} > 3,2$

Agregados graúdos:

- Pedra nº 1: material contido entre as peneiras com abertura de malha 4,8 mm e 12,5 mm
- Pedra nº 2: material contido entre as peneiras com abertura de malha 12,5 mm e 25 mm

- Pedra nº 3: material contido entre as peneiras com abertura de malha 25 mm e 50 mm
- Pedra nº 4: material contido entre as peneiras com abertura de malha 50 mm e 76 mm
- Pedra nº 5: material contido entre as peneiras com abertura de malha 76 mm e 100 mm

### 3.2.2 Quanto à origem

Na classificação dos agregados por origem e forma de obtenção do material, conforme a norma ABNT NBR 9935/2011, os agregados podem ser classificados como naturais, artificiais ou reciclados.

- Agregados naturais: materiais encontrados na natureza, obtidos por simples extração, sem alteração da sua forma, dimensão ou composição química.
- Agregados artificiais: materiais obtidos por processos industriais envolvendo modificação mineralógica, química ou físico-química da matéria-prima original, para uso como agregado em concreto ou argamassa.
- Agregados reciclados: materiais obtidos por processos de reciclagem de resíduos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, para uso como agregados.

### 3.2.3 Quanto à massa específica

De acordo com FERREIRA (2009), os agregados podem ser classificados conforme sua massa específica em:

- Agregados leves: materiais que possuem massa específica inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup>. São utilizados para deixar as estruturas mais leves, se ressentem da sua baixa resistência mecânica, tornando-os mais suscetíveis a esforços de esmagamento.
- Agregados normais: materiais que apresentam massa específica entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 3000 kg/m<sup>3</sup>. São considerados aqueles que mostram as condições normais de peso e resistência mecânica.
- Agregados pesados: materiais que têm massa específica superior a 3000 kg/m<sup>3</sup>, geralmente utilizadas como elementos de blindagem contra radiação ou como blocos de contrapeso ou ancoragem.

### 3.2.4 Parâmetros de caracterização dos agregados

Para realizar a caracterização dos agregados, buscou-se informações na norma ABNT NBR 7211/2005, em que está descrito as especificações dos agregados para concreto.

- Agregados miúdos:

Segundo a norma, a distribuição granulométrica deve respeitar aos limites estabelecidos na Tabela 6 no ANEXO A, conforme determinação da norma ABNT NBR NM 248/2003.

Em relação às substâncias nocivas, a quantidade delas não deve ultrapassar os limites máximos em porcentagem estabelecidos na Tabela 8 no ANEXO B com relação à massa do material.

Ainda, podem ser realizados ensaios especiais, como o ensaio para determinação da massa específica, e massa unitária, entre outros para caracterizar o material, que será apresentado posteriormente neste trabalho.

- Agregados graúdos:

De acordo com a norma, a distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 7 no ANEXO A, segundo a determinação da norma ABNT NM 248/2003.

A quantidade de substâncias nocivas não deve exceder os limites máximos em porcentagem estabelecidos na Tabela 9 no ANEXO B com relação à massa do material.

### 3.3 Dosagem do concreto

Para realizar a dosagem do concreto foi utilizado o método de dosagem ACI.

FERREIRA (2009) afirma que este método foi baseado em inúmeras dosagens realizadas, que permitiram determinar os valores apresentados nas tabelas extraídas do trabalho Dosagem dos Concretos pelo Método do American Concrete Institute, Aplicação e Comentários, de Francisco de Assis Basílio. Essas tabelas que se encontram na seção de dosagem, apresentam o consumo de água para cada SLUMP e o diâmetro máximo do agregado graúdo, e o consumo de agregado graúdo para cada módulo de finura do agregado miúdo. Também é utilizado neste método, o ábaco que apresenta a relação entre  $f_{ck}$  e o Fator água/cimento, localizado na seção de dosagem.



BOGGIO (2000) descreve em seu trabalho, que o método ACI dá importância à trabalhabilidade, através de diversos fatores relativos aos materiais, às condições de execução e adensamento, e às dimensões das peças. O método aborda um conceito fundamental no qual para cada granulometria do agregado miúdo e cada diâmetro máximo de agregado graúdo tem um valor máximo de volume de agregado compactado seco por m<sup>3</sup> de concreto. Além disso, este método de dosagem fornece traços com baixos teores de areia, obtendo misturas mais econômicas.

Conforme BOGGIO (2000), o método pode ser apresentado em série de etapas bem definidas, associando um conjunto de tabelas que facilitam a determinação de parâmetros necessários para obtenção do traço de partida.

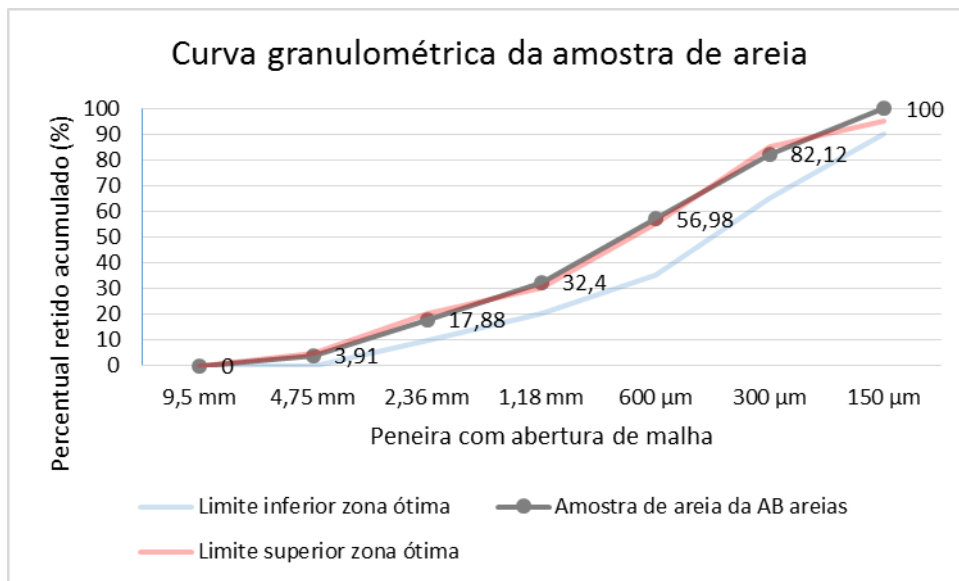
## 4 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Serão apresentados a seguir, os resultados dos ensaios de caracterização que foram realizados em laboratório. As metodologias e seus desenvolvimentos estão descritas no APÊNDICE A e APÊNDICE B.

### 4.1 Ensaio de determinação de composição granulométrica

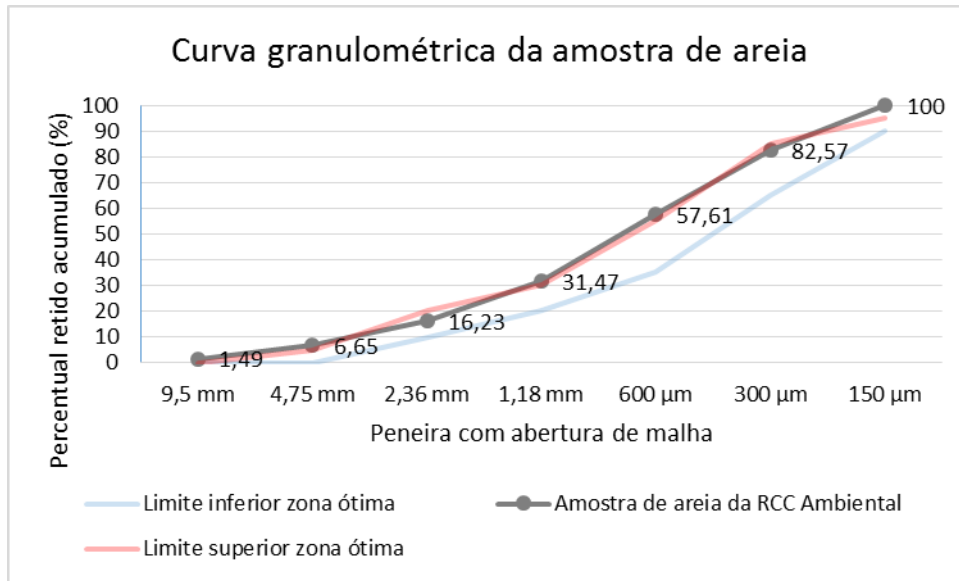
A partir da realização do ensaio e a tabela de limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo descrito na Tabela 6 no ANEXO A obtiveram-se as curvas granulométricas apresentadas na Figura 1 e Figura 2.

Figura 1 – Curva granulométrica da areia fornecida pela AB areias



Fonte: Autora

Figura 2 – Curva granulométrica da areia fornecida pela RCC Ambiental



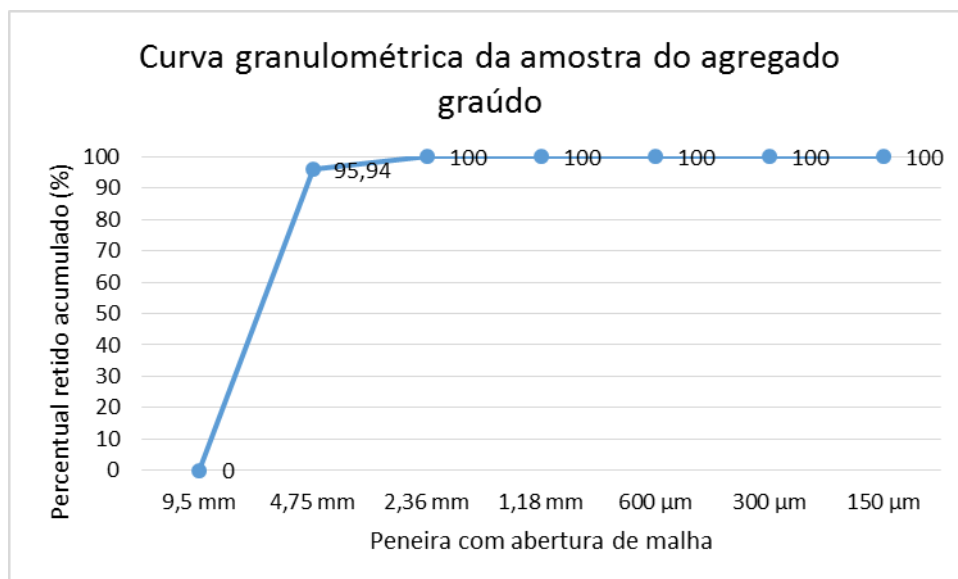
Fonte: Autora

O módulo de finura da areia da AB areias determinado pelo cálculo especificado na norma ABNT NBR 7217/1987 foi 2,93, podendo ser classificado como areia grossa.

O módulo de finura da areia fornecida pela RCC Ambiental foi 2,96, sendo classificado também como areia grossa.

Utilizando a Tabela 7 no ANEXO A, que apresenta os limites de composição granulométrica do agregado graúdo, e a partir de dados obtidos em ensaio obteve-se a curva granulométrica mostrada na Figura 3. Com o material contido entre as peneiras 4,8 mm e 12,5 mm, o agregado pode ser classificado como pedra nº 1.

Figura 3 – Curva granulométrica do agregado graúdo fornecido pela AB areias



Fonte: Autora

#### **4.2 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

A massa específica da amostra fornecida pela AB areias obtida pelo ensaio descrito na norma ABNT NBR 9776/1987 foi de 2,4154 g/cm<sup>3</sup>, podendo classificá-lo como agregado normal.

Já a massa específica da amostra fornecida pela RCC Ambiental foi de 2,2831 g/cm<sup>3</sup>, que também pode ser classificado como agregado normal.

#### **4.3 Determinação da massa específica de agregados graúdos**

A massa específica do agregado graúdo fornecido pela AB areias utilizando a expressão descrita na norma ABNT NBR 9776/1987 foi de 2,4938 g/cm<sup>3</sup>, podendo classificá-lo como agregado normal.

#### **4.4 Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

A umidade superficial da areia fornecida pela AB areias segundo a expressão descrita na norma ABNT NBR 9775/1987 foi de 0 (zero), sendo o material completamente seco.

A amostra fornecida pela RCC Ambiental também apresentou umidade superficial igual a 0 (zero).

#### **4.5 Determinação da massa unitária do agregado em estado solto**

Realizando o ensaio conforme a norma ABNT NBR 7251/1982, a massa unitária da areia fornecida pela AB areias foi de 1261,38 kg/m<sup>3</sup>. E a massa unitária do material fornecido pela RCC Ambiental foi de 1302,12 kg/m<sup>3</sup>.

Realizando o mesmo ensaio com o agregado graúdo fornecido pela AB areias, a massa unitária do material foi de 1232,05 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.6 Determinação da massa unitária compactada do agregado graúdo**

A massa unitária compactada do agregado graúdo fornecido pela AB areias, conforme cálculo especificado na norma ABNT NBR 7810/1983, foi de 1241,83 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.7 Determinação do teor de materiais pulverulentos**

O teor de materiais pulverulentos encontrado na areia fornecida pela AB areias conforme cálculo descrito na norma ABNT NBR 7219/1987 foi igual a 18%. No entanto, de acordo com a norma ABNT NBR 7211/2005, o limite máximo aceitável de materiais pulverulentos no agregado miúdo com relação à massa do material é de 5%, indicando que o material fornecido não está de acordo com as especificações da norma brasileira.

Já o teor de materiais pulverulentos presente na amostra fornecida pela RCC Ambiental foi de 32,5%, ultrapassando muito o limite máximo aceitável de materiais pulverulentos no agregado, mostrando que este material também não está de acordo com as especificações da norma.

#### **4.8 Determinação de impurezas orgânicas em agregados miúdos**

Para a determinação de impurezas orgânicas presentes na amostra fornecida pela AB areias foi utilizada a norma ABNT NBR 7220/1987.

Na realização do ensaio, observou-se a absorção de quase toda a solução pelo agregado miúdo, restando uma pequena fração para realizar a análise. Isso foi ocasionado pela característica do material, que possuía alto teor de material pulverulento.

Como pode ser observado na Figura 4, comparando a cor da solução padrão (à esquerda) com a solução da amostra (à direita), é possível verificar que a solução da amostra tem uma coloração um pouco mais escura do que a solução padrão, indicando que existe um pequeno nível de contaminação por impurezas orgânicas no material fornecido.

Figura 4 – Foto tirada da solução padrão à esquerda, e solução da amostra à direita.



Fonte: Autora

Para a determinação de impurezas orgânicas presentes na amostra fornecida pela RCC Ambiental, foi utilizado a norma ASTM C40 comparando-se a cor da solução da amostra com um comparador colorimétrico como mostrado na Figura 5. Com isso, verificou-se que a coloração da solução foi equivalente ao nível 3 do comparador colorimétrico, indicando que não contém impurezas orgânicas naquele material.

Figura 5 – À frente o comparador colorimétrico e atrás a solução com a amostra.



Fonte: Autora

#### 4.9 Determinação de contaminação do agregado graúdo por material cerâmico

A determinação de contaminação do agregado graúdo por material cerâmico da amostra fornecida pela AB areias foi realizada pelo método de catação, conforme orientação do professor. A Figura 6 apresenta o material cerâmico encontrado em 300g de amostra, correspondente a 5% de contaminação do agregado pelo material cerâmico.

Figura 6 - Material cerâmico encontrado em 300g de amostra



Fonte: Autora

#### 4.10 Determinação da composição do agregado reciclado graúdo por análise visual

A determinação da composição do agregado graúdo fornecido pela RCC Ambiental foi feita através da separação da amostra em categorias distintas de materiais como se observa na Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10. Assim, obteve-se o resultado apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do agregado graúdo da RCC Ambiental

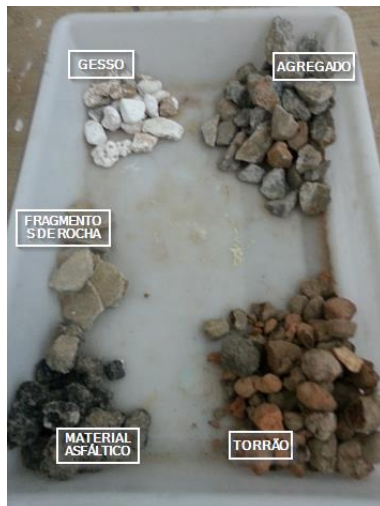
<b>Composição da amostra</b>	
<b>Tipo de material</b>	<b>Quantidade em porcentagem (%)</b>
Cimento e concreto	70,85
Tijolo	18,00
Agregado	3,59
Torrão de argila e materiais friáveis	1,99

Tabela 1 (Conclusão)

Composição da amostra	
Tipo de material	Quantidade em porcentagem (%)
Cerâmica branca	1,88
Cerâmica vermelha	1,79
Material asfáltico	0,94
Gesso	0,51
Fragmentos de rocha	0,36
Lixo (vidro, madeira, plástico, etc)	0,09

Fonte: Autora

Figura 7 - Amostra separada em diferentes materiais



Fonte: Autora

Figura 8 - Amostra separada em cimento e concreto



Fonte: Autora

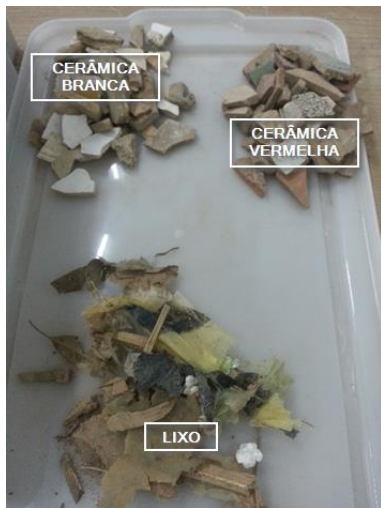


Figura 9 - Amostra separada em tijolo



Fonte: Autora

Figura 10 - Amostra separada em cerâmica branca, cerâmica vermelha e lixo



Fonte: Autora

## 5 DOSAGEM

Serão apresentados nesta seção a dosagem teórica aplicando-se o método ACI e a dosagem laboratorial do concreto utilizando as amostras fornecidas pela AB areias.

### 5.1 Dosagem teórica

Para se obter dosagem do concreto através do método ACI serão determinados inicialmente os parâmetros do projeto. Em seguida, serão apresentadas as caracterizações dos materiais e finalmente serão realizados os cálculos para determinação do traço do concreto.

#### A. Parâmetros do projeto

- Peças a serem concretadas: lajes pouco armadas
- $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$
- Equipe bem treinada
- Dimensão máxima da peça: 60 mm
- Afastamento da armadura: 100 mm

#### B. Caracterização dos materiais

- Cimento Portland CP III

Massa específica:  $3080 \text{ kg/m}^3$

- Agregado miúdo

Tipo: areia reciclada

Massa específica aparente:  $2415,46 \text{ kg/m}^3$

Massa unitária seca:  $1261,38 \text{ kg/m}^3$

MF = 2,93

- Agregado graúdo

Tipo: seixo rolado reciclado

Diâmetro máximo ( $\varnothing_{\text{máx}}$ ): 9,5 mm

Massa específica aparente:  $2493,77 \text{ kg/m}^3$

Massa unitária solta: 1232,05 kg/m<sup>3</sup>

Massa unitária compacta: 1241,83 kg/m<sup>3</sup>

### C. Cálculos

#### 1. Cálculo do $f_{cd}$

$$f_{cd} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

Onde:

$f_{ck}$  = Resistência à compressão de dosagem em MPa.

$S_d$  = Desvio padrão de dosagem em MPa.

Assim:

$S_d = 5,5$  MPa – Toda vez que a produção for em volume de materiais, a umidade dos agregados for rigorosamente controlada e a equipe for bem treinada, com acompanhamento de um técnico especializado.

$$f_{cd} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{cd} = 34 \text{ MPa}$$

#### 2. Escolha do SLUMP

Laje pouco armada – 60 mm

#### 3. Determinação do diâmetro máximo ( $\varnothing_{\text{máx}}$ ) do agregado graúdo

Espessura da laje: 60 mm

$\varnothing_{\text{máx}}$  para laje  $\leq 1/3$  espessura

$\varnothing_{\text{máx}}$  para laje  $\leq 20$  mm

$\varnothing_{\text{máx}} = 9,5$  mm

#### 4. Determinação do consumo de água

SLUMP = 6

$\varnothing_{\text{máx}} = 9,5$  mm

O consumo de água encontrado através da Tabela 2 foi de 210 kg de água/m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 2 – Consumo de água

SLUMP	Consumo de água, expresso em kg/m <sup>3</sup> de concreto, para agregados graúdos com Ø <sub>máx</sub> expresso em mm							
	9,5	12,5	19,0	25,0	38,0	50,0	76,0	152,0
<b>Concreto sem ar incorporado</b>								
<b>3 a 5</b>	205	200	185	280	160	155	145	125
<b>8 a 10</b>	225	215	200	195	175	170	160	140
<b>15 a 18</b>	240	230	210	205	185	180	170	-
<b>% de vazios</b>	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
<b>Concreto com ar incorporado</b>								
<b>3 a 8</b>	180	175	165	160	145	140	135	120
<b>8 a 10</b>	200	190	180	175	160	155	150	135
<b>15 a 18</b>	215	205	190	185	170	165	160	-
<b>% de ar incorporado</b>	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

Fonte: (FERREIRA, 2009)

##### 5. Determinação do consumo de cimento

Classe de resistência: CP 320

$$f_{cd} = 34 \text{ MPa}$$

Fator água/cimento encontrado na Figura 11 foi de 0,45.

Assim:

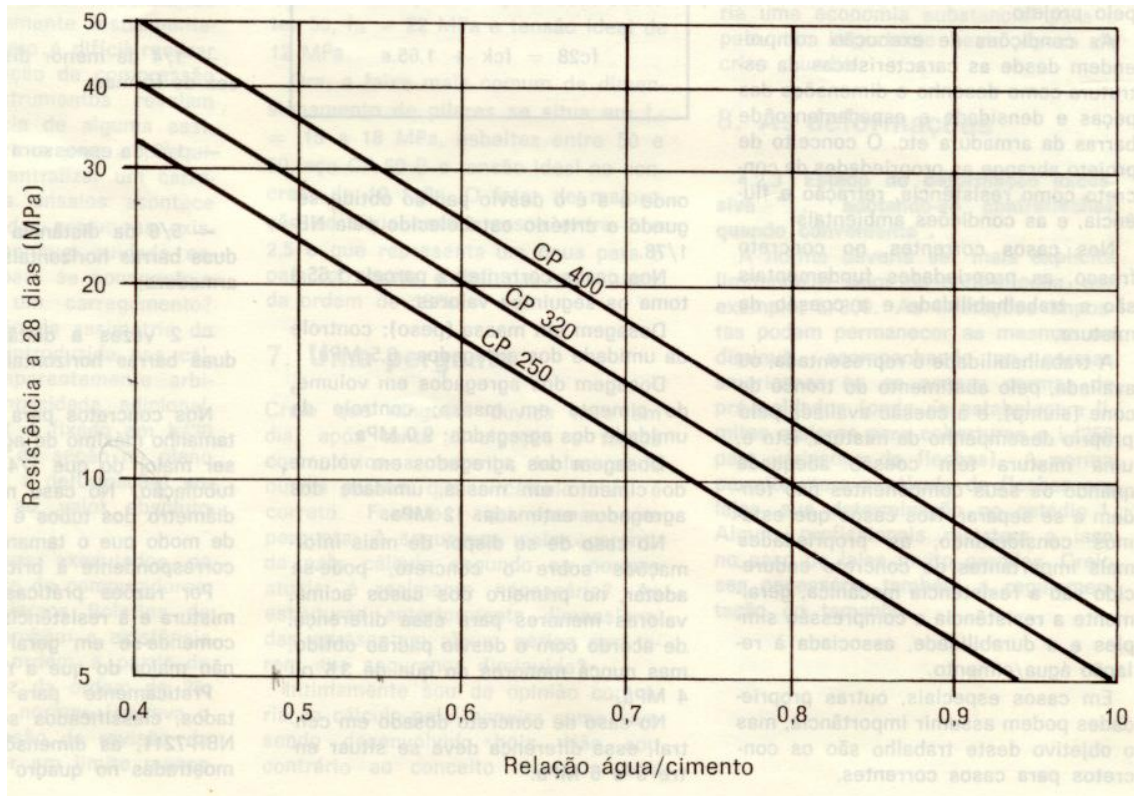
$$\text{Fator } A/C = \frac{\text{consumo de água}}{\text{consumo de cimento}}$$

$$\text{consumo de cimento} = \frac{210}{0,45}$$

$$\text{consumo de cimento} = 466,67 \text{ kg/m}^3$$

O consumo de cimento é de 466,67 kg de cimento/m<sup>3</sup> de concreto.

Figura 11 - Determinação do fator A/C



Fonte: (FERREIRA, 2009)

## 6. Determinação do consumo de agregado graúdo

$$MF = 2,93$$

$$\varnothing_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$$

O volume aparente compactado de agregado graúdo encontrado através da Tabela 3 é igual a  $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$  de concreto.

Assim:

*consumo de agregado graúdo*

$$= \text{volume aparente compactado} \times \text{massa unitária compacta}$$

$$\text{consumo de agregado graúdo} = 0,45 \times 1241,83$$

$$\text{consumo de agregado graúdo} = 558,82 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ de concreto}$$

O consumo de agregado graúdo encontrado é de  $558,82 \text{ kg}$  de agregado/ $\text{m}^3$  de concreto.

Tabela 3 - Consumo de agregado graúdo

Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)	Volume de agregado graúdo compactado a seco, por m <sup>3</sup> de concreto, para diferentes módulos de finura do agregado miúdo a ser utilizado			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
38,0	0,76	0,74	0,72	0,70
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
76,0	0,81	0,79	0,77	0,75
152,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: (FERREIRA, 2009)

### 7. Determinação do consumo de agregado miúdo

Determinação dos volumes:

- Volume de cimento

$$\text{Volume de cimento} = \frac{\text{consumo do cimento}}{\text{massa específica do cimento}} = \frac{466,67}{3080}$$

$$\text{Volume de cimento} = 0,152 \text{ m}^3$$

- Volume de agregado graúdo

$$\begin{aligned} \text{Volume de agregado graúdo} &= \frac{\text{consumo de agregado graúdo}}{\text{massa específica do agregado graúdo}} \\ &= \frac{558,82}{2493,77} \end{aligned}$$

$$\text{Volume de agregado graúdo} = 0,224 \text{ m}^3$$

- Volume de água

$$\text{Volume de água} = \frac{\text{consumo de água}}{\text{massa específica da água}} = \frac{210}{1000}$$

$$\text{Volume de água} = 0,210 \text{ m}^3$$

- Através da Tabela 2, o volume de vazios equivalente para o diâmetro máximo do agregado graúdo igual a 9,5 mm encontrado é de 3%.

Portanto:

$$\Sigma \text{volumes} = (0,152 + 0,224 + 0,210 + 0,030) = 0,616 \text{ m}^3$$

- Volume do agregado miúdo

$$\text{Volume do agregado miúdo} = 1,000 - 0,616 = 0,384 \text{ m}^3$$

Assim:

*consumo de agregado miúdo*

$$= \text{volume do agregado miúdo}$$

$$\times \text{massa específica do agregado miúdo} = 0,384 \times 2415,46$$

$$\text{consumo do agregado miúdo} = 927,54 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto}$$

O consumo do agregado miúdo obtido foi de 927,54 kg de agregado/m<sup>3</sup> de concreto.

## 8. Determinação do traço

*cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água*

$$\frac{466,67}{466,67} : \frac{927,54}{466,67} : \frac{558,82}{466,67} : \frac{210}{466,67}$$

$$1,00 : 2,00 : 1,20 : 0,45$$

## 5.2 Dosagem laboratorial

Para produzir quantidade suficiente de concreto para a moldagem dos corpos de prova, foi estabelecido a utilização de 5 kg de cimento. A partir do traço encontrado na dosagem teórica foram determinadas as quantidades dos demais materiais.

Assim:

- *cimento* =  $1,00 \times 5,00 = 5,00 \text{ kg}$
- *agregado miúdo* =  $2,00 \times 5,00 = 10,00 \text{ kg}$
- *agregado graúdo* =  $1,20 \times 5,00 = 6,00 \text{ kg}$
- *água* =  $0,45 \times 5,00 = 2,25 \text{ kg}$

Determinados os pesos dos materiais, prosseguiu-se para realização da concretagem.

A concretagem se procedeu com a limpeza da betoneira e mistura dos materiais, adicionando-se na ordem respectiva de água, agregado graúdo, agregado miúdo e cimento, visando uma mistura adequada em menor tempo possível.

Uma parcela de água foi reservada para ser adicionado conforme a necessidade, após a adição do cimento na mistura. Entretanto, mesmo adicionando todo volume de água a mistura se apresentou seca. Então, adicionou-se na mistura 200 ml de água, e verificando-se a

necessidade, acrescentou-se mais 200 ml de água. Porém, como se pode observar na Figura 12, ao invés de se formar um concreto homogêneo, formaram-se pequenas esperas nas quais cada agregado graúdo foi envolto por camada de argamassa.

Por não se formar concreto propriamente dito, não foi possível dar continuidade aos ensaios como o ensaio de SLUMP e moldagem dos corpos de prova para realizar o ensaio de resistência do concreto.

Figura 12 - Agregado graúdo envolvido por camada de argamassa



Fonte: Autora



## 6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO

Para analisar a qualidade do agregado miúdo fornecido pela RCC Ambiental, foram feitos ensaios de argamassa, utilizando a metodologia de ensaio de determinação da resistência à compressão do cimento da norma ABNT NBR 7215/1996.

A amostra fornecida continha um material no qual não se sabia se era cerâmico ou argila, por isso foi feita uma análise do comportamento da argamassa composta com a amostra ao realizar o processo de preparo da mistura. Observou-se então que ela apresentava uma consistência mais plástica, significando que continha uma porcentagem maior do material argiloso do que cerâmico no material fornecido.

Foram moldados 6 corpos de prova de argamassa com areia normal e 6 corpos de prova de argamassa com amostra de areia, para observar a diferença de resistência entre os dois materiais. Os corpos de prova foram rompidos aos 21 dias e obtiveram as resistências à compressão como se mostra na Tabela 4.

Conforme instruções do orientador, foram considerados apenas os resultados que estavam dentro da margem de 10% da média das resistências em cada tipo de material. Deste modo, o resultado A2 dos corpos de prova composta com areia normal, apresentando um valor discrepante em relação às outras, foi desconsiderado. Já nos corpos de prova da amostra foram considerados apenas os resultados do R4 e R6.

Tabela 4 - Resistência à compressão das argamassas aos 21 dias

Argamassa com areia normal			Argamassa com amostra de areia		
Corpo de Prova	kgf	kgf/cm <sup>2</sup>	Corpo de Prova	kgf	kgf/cm <sup>2</sup>
A1	3600	183	R1	2800	143
A2	2700	138	R2	1900	97
A3	3800	194	R3	1600	82
A4	3880	198	R4	2500	127
A5	3600	183	R5	2800	143
A6	4000	204	R6	2160	110
<b>Média da resistência</b>		183	<b>Média da resistência</b>		117

Fonte: Autora

Posteriormente, foram confeccionados 12 corpos de prova de argamassa com amostra de areia para verificar uma possível pozolanização dessa argamassa. Para averiguar este efeito, romperam-se 4 corpos de prova aos 30 dias, 4 corpos de prova aos 60 dias e 4 corpos de prova restantes aos 90 dias. As resistências de compressão que cada uma delas apresentou estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência à compressão dos corpos de prova com amostra de areia

<b>Resistência à compressão dos corpos de prova com amostra de areia</b>								
<b>Aos 30 dias</b>			<b>Aos 60 dias</b>			<b>Aos 90 dias</b>		
<b>CP</b>	<b>kgf</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>CP</b>	<b>kgf</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>CP</b>	<b>kgf</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	1260	64	<b>5</b>	1000	51	<b>9</b>	740	38
<b>2</b>	800	41	<b>6</b>	1800	92	<b>10</b>	700	36
<b>3</b>	960	49	<b>7</b>	1500	76	<b>11</b>	720	37
<b>4</b>	1200	61	<b>8</b>	1340	68	<b>12</b>	900	46
<b>Média das resistências</b>		54	<b>Média das resistências</b>		72	<b>Média das resistências</b>		39

Fonte: Autora

Observa-se com os resultados apresentados na Tabela 5, que ao contrário do efeito de pozolanização, teve uma queda de resistência da argamassa conforme o aumento do tempo de cura. A explicação para isto se deve ao comportamento da argamassa no momento em que esta foi preparada. A argamassa sendo mais plástica indica maior teor de argila, afetando a resistência dela durante o processo de cura. E é conhecido na área de mecânica dos solos, que a argila conforme ocorre o aumento de presença de água no solo, existe a perda correspondente de resistência.

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apesar de os ensaios de caracterização dos agregados miúdos e graúdos fornecidos pela AB areias, essenciais para realizar a dosagem teórica, terem sido realizados, diante dos resultados negativos apresentados durante a concretagem do material, verificou-se a necessidade da realização de ensaios de qualidade das amostras.

Por meio desses ensaios, verificou-se que para o caso da areia, o valor do teor de material pulverulento encontrado na amostra foi de 18%, ultrapassando o limite máximo permitido de 5%, determinado pela norma ABNT NBR 7211/2005, não atendendo às especificações da norma brasileira. O problema disso é que, segundo SANTOS e MARTINS (2010), o alto teor de material pulverulento no agregado diminui a aderência entre o agregado e a pasta ou argamassa, prejudicando diretamente a resistência e instabilidade dimensional do concreto produzido com alto índice de material pulverulento. Também, de acordo com MEIER (2011), a grande quantidade de material pulverulento presente, aumenta a necessidade de água para uma mesma consistência.

Além disso, verificou-se a existência de um pequeno nível de contaminação do material por impurezas orgânicas, o que pode causar perda de resistência do concreto, pois impurezas orgânicas interferem nas reações químicas de hidratação do cimento, de acordo com MEIER (2011).

Para o caso do agregado graúdo, foi verificado uma contaminação da amostra de 5% por material cerâmico, o que pode afetar no teor de absorção de água comparado a brita, devido à quantidade de poros abertos e ligados entre si, encontrado no corpo cerâmico depois de queimado, conforme CAMPOS, MAZINI e SILVA NETO (2012).

Portanto, a combinação dos três fatores citados acima fez com que a concretagem do material fornecido se tornasse inviável, impedindo a realização dos ensaios de SLUMP e de resistência do concreto.

Em relação às amostras fornecidas pela RCC Ambiental, como já haviam sido analisados os materiais fornecidos pela AB areias e se sabia dos possíveis problemas de qualidade dos materiais, foram realizados ensaios de caracterização e de qualidade dos agregados.

O teor de materiais pulverulentos encontrado na areia foi de 32,5%, indicando que este material também não atende às especificações da norma. Além disso, comparado com o agregado miúdo fornecido pela AB areias, este possui quase o dobro do teor, o que significa

que no quesito do índice de materiais pulverulentos este material tem uma qualidade pior. Porém, em relação à contaminação do agregado miúdo fornecido pela RCC Ambiental por impurezas orgânicas não foi detectado contaminação.

O agregado graúdo fornecido pela empresa tinha uma dimensão maior, possibilitando a determinação da composição do agregado por análise visual. Com isso, verificou-se a presença, ainda que em pequenas porcentagens, de materiais cerâmicos, torrões de argila e materiais friáveis, gesso e resíduos como vidro, plástico e madeira que podem prejudicar a resistência do concreto produzido com estes materiais. A presença de gesso na amostra fornecida, pode trazer problemas nos concretos promovendo reações expansivas em razão à sua interação com os produtos da hidratação do cimento, segundo VIEIRA (2008).

Tendo em vista os ensaios de caracterização e qualidade dos agregados fornecidos pela RCC Ambiental, optou-se por realizar ensaios com argamassa produzida com a amostra fornecida para analisar a qualidade do agregado miúdo. Com isso, verificou-se que em média, a resistência da argamassa confeccionada com a amostra apresentava apenas 64% da resistência de uma argamassa confeccionada com areia normal, aos 21 dias.

Em um outro ensaio que foi realizado para verificar um possível efeito de pozolanização da argamassa da amostra, observou-se, em primeiro instante, um aumento de resistência quando comparado as resistências entre os corpos de prova aos 30 dias e 60 dias. Porém, aos 90 dias, houve uma queda na resistência da argamassa. A explicação para isso se deve ao comportamento da argamassa no momento em que esta foi preparada, apresentando uma consistência bem plástica, indicando maior quantidade de material argiloso em relação ao material cerâmico na amostra fornecida. Para MEIER (2011), o material fino de certas argilas ocasiona maior alteração de volume, aumentando sua retração e reduzindo sua resistência.

## 8 CONCLUSÃO

Com os estudos do comportamento dos agregados reciclados de RCD em concreto de cimento Portland e em argamassa realizados nesse trabalho, verificou-se que os materiais fornecidos pelas duas empresas do Vale do Paraíba, AB areias e RCC Ambiental, não podem ser utilizados para substituir os agregados naturais, pois não conseguem obter o mesmo desempenho de um material extraído em uma pedreira.

O agregado reciclado apresenta complexidade e diversidade em sua origem, como foi observado no ensaio de determinação da composição do agregado por análise visual, exigindo maior cuidado no tratamento deste material. A forma como esse material deve ser trabalhado não pode ser igual a de uma pedreira realizando o mesmo processo utilizado para a britagem de agregados naturais.

Sugere-se que os materiais que compõem o material reciclado sejam devidamente identificados assim que chegarem na usina de reciclagem, e que sejam selecionados para a britagem apenas aqueles não prejudiciais para o desempenho posterior, tanto para concreto como para argamassa.

Materiais como plásticos, papel, metais, vidros, madeiras e gesso devem ser separados, pois são materiais recicláveis para outras destinações, enquadrando-se em materiais de Classe B, como designado na Resolução CONAMA nº 307/2002.

Ainda, propõe-se que sejam realizados os devidos cuidados para evitar a contaminação do material por impurezas orgânicas, já que este tipo de contaminação interfere nas reações químicas de hidratação do cimento, conforme MEIER (2011).

Em relação aos materiais pulverulentos, é aconselhável que seja realizado lavagens dos materiais para eliminá-los, pois o alto teor de materiais pulverulentos nos agregados é prejudicial ao desempenho dos concretos e argamassas.

Alterando o modo como se enxerga esse tipo de material, entendendo o quão complexo ele é e manipulando melhor a forma como é trabalhado, pode-se obter um agregado reciclado de RCD com qualidades melhores para o uso em concretos e argamassas. Assim, o material poderá ser utilizado em maiores escalas e diminuir os problemas causados pelos resíduos de construção e demolição no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 40: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. West Conshohocken, 1999.

ANGULO, Sérgio Cirelli. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7220: Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7810: Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9775: Agregados - Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1 ed. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: Agregados - Terminologia. 1 ed. Rio de Janeiro, 2011. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BOGGIO, Aldo J.. Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland. 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CAMPOS, Cassio Fabian S.; MAZINI, Giovane Bozette; SILVA NETO, Guilherme Augusto da. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUO SÓLIDO DE CERÂMICA VERMELHA. Colloquium Exactarum, Presidente Prudente, v. 4, n. 2, p.1-11, jul. 2012.

FERREIRA, Prof. Dr. José Bento. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: NOTAS DE AULA. Guaratinguetá, 2009. 52 p.

HOOD, Rogério da Silva Scott. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confeção de Blocos de Concreto para Pavimentação. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MEIER, Denis. ANÁLISE DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO FORNECIDO EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA. 2011. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PAULA, Paulo Roberto Freire de. Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

Resolução CONAMA Nº 307/2002 - "Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil". - Data da legislação: 05/07/2002 - Publicação DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96 - Alterada pelas Resoluções 348, de 2004, nº 431, de 2011, e nº 448/2012.

SANTOS, Flávio André Raimundo Alves dos; MARTINS, Matheus Rodrigues. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS NOS AGREGADOS (NBR-7219/1987). Palmas: Ulbra, 2010. 6 p.

VIEIRA, Alexandre Lopes. Propriedades dos microconcretos fabricados com agregados contaminados por resíduos de gesso. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.



## APÊNDICE A – Metodologia

Serão apresentados nessa seção as metodologias utilizadas para realizar os estudos dos agregados reciclados fornecidos. Grande parte das metodologias foram baseadas em normas da ABNT e estão separadas por ensaios.

### **Ensaio de Determinação de Composição Granulométrica**

Para o ensaio de determinação de composição granulométrica, foram utilizados a norma NBR 7217 e a norma NBR 7211.

A NBR 7217 é uma norma técnica ABNT publicada em 1987, que prescreve o método da determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. Já a NBR 7211 é uma norma técnica ABNT publicada em 2005, que especifica os requisitos exigíveis dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland.

Neste ensaio deve ser utilizado um conjunto de peneiras com um fundo, previamente limpas, com abertura de malhas em ordem crescente da base para o topo, e 1kg de amostra do material. A amostra deve ser previamente colocada em uma estufa para secar e depois esfriada em temperatura ambiente.

O ensaio consiste em promover o peneiramento contínuo da amostra e o material retido em cada peneira deve ser removido e medido a sua massa.

Com a realização deste ensaio deve-se obter a curva granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima característica da amostra do agregado. A curva granulométrica é a representação gráfica das porcentagens retidas acumuladas em cada peneira em relação à dimensão da abertura de sua malha. O módulo de finura é a soma das porcentagens do agregado retido acumulado em massa, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100. E a dimensão máxima característica é a abertura nominal da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5% retido acumulado em massa.

### **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

Para o ensaio de determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman foi utilizado a norma NBR 9776.

A NBR 9776 é uma norma técnica ABNT publicada em 1987, que prescreve o processo de determinação da massa específica de agregados miúdos para concreto pelo frasco de Chapman.

Neste ensaio deve ser utilizado o frasco de Chapman, água e 500g de amostra do material.

O ensaio consiste em colocar água no frasco até a marca de 200ml e em seguida, introduzir cuidadosamente o agregado miúdo. O frasco deve ser devidamente agitado para eliminar as bolhas de ar e deve ser realizado a leitura do nível de água atingido no gargalo do frasco.

Com a realização deste ensaio deve-se obter a massa específica do agregado miúdo. A massa específica é a massa da unidade de volume excluindo-se os vazios entre grãos e os permeáveis, isto é, a massa de uma unidade de volume dos grãos do agregado.

### **Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

Para o ensaio de determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman foi utilizado a norma NBR 9775.

A NBR 9775 é uma norma técnica ABNT publicada em 1987, que prescreve o processo de determinação da umidade superficial em agregados miúdos pelo frasco de Chapman.

Neste ensaio deve ser utilizado o frasco de Chapman, água e 500g de amostra do material.

O ensaio consiste em colocar água no frasco até a marca de 200ml e em seguida, introduzir cuidadosamente o agregado miúdo. O frasco deve ser devidamente agitado para eliminar as bolhas de ar e deve ser realizado a leitura do nível de água atingido no gargalo do frasco.

Com a realização deste ensaio, deve-se obter a umidade superficial do agregado miúdo. A umidade superficial é a água aderente na superfície dos grãos do agregado.

### **Determinação da massa unitária do agregado em estado solto**

Para o ensaio de determinação da massa unitária do agregado em estado solto foi utilizado a norma NBR 7251.

A NBR 7251 é uma norma técnica ABNT publicada em 1982, que prescreve o método para a determinação da massa unitária do agregado em estado solto.

Neste ensaio deve ser utilizado um recipiente paralelepípedo de material metálico de dimensões conhecidas, uma balança e quantidade suficiente de amostra para completar o recipiente metálico.

O ensaio consiste em pesar e determinar o volume do recipiente a ser utilizado, preenchê-lo com agregado e pesá-lo com o material contido nele. A massa do agregado solto é a diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

Com a realização do ensaio, deve-se obter a massa unitária do agregado, que é o peso da unidade de volume, incluindo-se os vazios contidos nos grãos.

### **Determinação da massa unitária compactada do agregado graúdo**

Para o ensaio de determinação da massa unitária compactada do agregado graúdo foi utilizado a norma NBR 7810.

A NBR 7810 é uma norma técnica ABNT publicada em 1983, que prescreve o método para a determinação da massa unitária de agregados em estado compactado e seco.

Neste ensaio deve ser utilizado um recipiente paralelepípedo de material metálico de dimensões conhecidas, uma balança, uma haste de adensamento e quantidade suficiente de amostra para completar o recipiente metálico.

O ensaio consiste em pesar e determinar o volume do recipiente a ser utilizado, preenchê-lo com agregado de forma que o material seja compactado e pesá-lo com o material contido nele. A massa unitária do agregado no estado compactado é o quociente da massa do agregado compactado, e o seu volume.

### **Determinação do teor de materiais pulverulentos**

Para o ensaio de determinação do teor de materiais pulverulentos foi utilizado a norma NBR 7219.

A NBR 7219 é uma norma técnica ABNT publicada em 1987, que prescreve o método para a determinação do teor de materiais pulverulentos presentes em agregados destinados ao preparo do concreto.

Neste ensaio deve ser utilizado um conjunto de duas peneiras 1,2mm e 0,075mm, água, balança e 1kg de amostra de areia.

O ensaio consiste em realizar a lavagem do material previamente seco em estufa, repetindo o processo até que a água de lavagem se torne límpida. Ao terminar a lavagem, o material deve ser colocado em estufa para secar.

Com a realização do ensaio, deve-se obter o teor de materiais pulverulentos da amostra, obtida pela diferença entre as massas da amostra antes e depois da lavagem e apresentada em porcentagem da massa da amostra ensaiada. Materiais pulverulentos são partículas minerais de dimensão inferior a 0,075mm, podendo ser solúveis em água, presentes nos agregados.

### **Determinação de impurezas orgânicas em agregados miúdos**

Para o ensaio de determinação de impurezas orgânicas em agregados miúdos foram utilizados as normas NBR 7220 e ASTM C40.

A NBR 7220 é uma norma técnica ABNT publicada em 1987, que prescreve o método para a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto.

Neste ensaio serão utilizados 200g de amostra de areia, solução de hidróxido de sódio a 3% e solução de ácido tânico a 2%.

O ensaio consiste em realizar uma comparação das intensidades de cores entre a solução padrão e a solução filtrada que continha a amostra, ambas deixadas em repouso por 24h, anotando-se se a cor da solução com a amostra é mais escura, mais clara ou igual à da solução padrão.

A ASTM C40 é uma norma técnica ASTM publicada em 2004, que prescreve o método para a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto. A diferença desta norma para a NBR 7220 é a utilização do comparador

colorimétrico, cujo qual possui cinco cores representando a intensidade da solução, onde a terceira representa a coloração padrão, para uma avaliação mais precisa da determinação de impurezas orgânicas no material.

### **Determinação da resistência à compressão do cimento**

Para o ensaio de determinação da resistência à compressão da argamassa composta com amostra de areia foi utilizado a norma NBR 7215.

A NBR 7215 é uma norma técnica ABNT publicada em 1996, que prescreve o método para a determinação da resistência à compressão de cimento Portland.

Neste ensaio são utilizados moldes, areia normal, cimento e água.

O ensaio consiste em determinar a resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100mm de altura. Os corpos de provas são feitos com argamassa composta de cimento, areia e água, preparada em um misturador mecânico e compactada manualmente em moldes, por um procedimento normalizado. Para uma cura inicial, os moldes que contêm os corpos de prova são mantidos em atmosfera úmida. Em seguida, os corpos de prova são desmoldados e submetidos à cura em água até a data de ruptura.

### **Dosagem de concreto de cimento Portland**

Para a realização da dosagem de concreto de cimento Portland composta com a amostra de areia, foi utilizado o método ACI apresentado no material de apoio do Prof. Dr. José Bento Ferreira.

No material, encontram-se tabelas extraídas do trabalho de Dosagem dos Concretos pelo Método do American Concrete Institute, Aplicação e Comentários, de Francisco de Assis Basílio, que foram utilizadas para os cálculos de dosagem.

Com base nos dados deste material e determinando-se parâmetros de projeto e do material, são realizados cálculos para determinar o consumo de água, cimento e agregados graúdos e miúdos. Para os parâmetros de projeto, são definidas as peças a serem concretadas, o  $f_{ck}$ , o tipo de equipe de pessoas que irão atuar na obra, a dimensão mínima da peça e o afastamento da armadura, entre outros. Para os parâmetros de materiais, são utilizadas

informações dos materiais caracterizados e também é definido o tipo de cimento utilizado para a confecção do concreto.

Após obtenção do traço, é estabelecido o volume do concreto que seja suficiente para realização do ensaio de consistência e para compor 4 corpos de prova necessárias para a realização do ensaio de resistência.

## APÊNDICE B – Desenvolvimento

Nesta seção estão descritos detalhadamente os desenvolvimentos do trabalho separados por ensaios realizados.

### Ensaio de Determinação de Composição Granulométrica

Este ensaio foi executado conforme especificado na norma NBR 7217, utilizando-se em série normal as peneiras 9,5mm – 4,75mm – 2,36mm – 1,18mm – 0,59mm – 0,30mm – 0,15mm e 1kg de amostra.

Primeiramente, a amostra foi colocada na estufa para secar e depois esfriada em temperatura antes de iniciar o experimento. Então, foi separado 1kg do material, com o auxílio de uma balança digital.

As peneiras previamente limpas foram encaixadas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malhas em ordem crescente da base para o topo, e um fundo de peneiras. Logo após, foi colocado o material no topo do conjunto de peneiras, fechando com uma tampa e colocando-o sobre um agitador de peneiras, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Conjunto de peneiras sobre um agitador mecânico



Fonte: Autora

Em seguida, foi realizado o peneiramento da amostra por agitação mecânica, devendo ser continuado até que não mais que 1% da massa total da amostra passe em qualquer peneira, durante 3 minutos em uma frequência de 15.

Depois o material retido em cada peneira foi removido e pesado em uma balança digital, para uma posterior análise da granulometria da amostra utilizada.

Este procedimento foi realizado para os agregados miúdos fornecidos por ambas empresas e também para o agregado graúdo fornecido pela AB areias.

### **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 9776, utilizando-se o frasco de Chapman apresentado na Figura 14, água e 500g de amostra de areia.

Inicialmente, foi separado 500g do material com o auxílio de uma balança digital e foi colocado água no frasco de Chapman até a marca de 200mL.

Em seguida, foi adicionado cuidadosamente no frasco o material previamente separado. Depois agitou-se o frasco de forma que eliminasse todas as bolhas de ar.

Finalmente, foi realizado a leitura do nível de água no gargalo do frasco.

Figura 14 - Frasco de Chapman



Fonte: Autora

O mesmo ensaio foi utilizado tanto para a amostra fornecida pela empresa AB areias, quanto para a amostra fornecida pela empresa RCC Ambiental.



### **Determinação da massa específica de agregados graúdos**

Para a determinação da massa específica de agregado graúdo, conforme orientação do professor, utilizou-se uma proveta com capacidade de 1L, água e 500g de amostra do agregado graúdo.

Inicialmente foi separado 500g do material utilizando-se uma balança digital e foi colocado água na proveta até a marca de 400mL.

Em seguida, foi adicionado cuidadosamente o material previamente separado na proveta e agitou-se a proveta até que eliminasse todas as bolhas de ar.

Finalmente, foi realizado a leitura do nível de água na proveta.

### **Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 9775, utilizando-se o frasco de Chapman, água e 500g de amostra de areia.

Inicialmente, foi separado 500g do material com o auxílio de uma balança digital e foi colocado água no frasco de Chapman até a marca de 200mL.

Em seguida, foi adicionado cuidadosamente no frasco o material previamente separado. Depois agitou-se o frasco de forma que eliminasse todas as bolhas de ar.

Finalmente, foi realizado a leitura do nível de água no gargalo do frasco como se mostra na Figura 15.

Figura 15 - Frasco de Chapman com amostra de areia e água



Fonte: Autora

O mesmo ensaio foi utilizado tanto para a amostra fornecida pela empresa AB areias, quanto para a amostra fornecida pela empresa RCC Ambiental.

### **Determinação da massa unitária do agregado em estado solto**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 7251, utilizando-se um recipiente paralelepípedo de material metálico, uma balança e uma quantidade de amostra suficiente para preencher o recipiente.

Primeiramente, foram medidos a altura, a largura e a profundidade interna do recipiente. Então, foi pesado o recipiente vazio.

Em seguida, com auxílio de uma pá metálica preencheu-se o recipiente, alternando-se os movimentos na horizontal e na vertical, sucessivamente, lançando o material a uma distância de 15cm acima da borda do recipiente. Depois, utilizou-se uma barra metálica para tirar todo o excesso.

Finalmente, foi realizada a pesagem do recipiente com o material como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Recipiente metálico com amostra de areia



Fonte: Autora

Este procedimento foi realizado para os agregados miúdos fornecidos por ambas empresas e também para o agregado graúdo fornecido pela AB areias.

### **Determinação da massa unitária compactada do agregado graúdo**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 7810, utilizando-se um recipiente paralelepípedo de material metálico conforme mostrado na Figura 17, uma balança, uma haste de adensamento e uma quantidade de amostra suficiente para preencher o recipiente.

Figura 17 - Recipiente metálico



Fonte: Autora

Inicialmente, foram medidas as dimensões internas do recipiente e realizado a pesagem do recipiente vazio.

Em seguida, com auxílio de uma pá metálica preencheu-se o recipiente, alternando-se os movimentos na horizontal e na vertical, sucessivamente, lançando o material a uma distância de 15cm acima da borda do recipiente. Para cada 1/3 do volume do recipiente preenchido, golpeou-se o conteúdo 25 vezes com a haste, afim de compactá-lo.

Por fim, foi utilizado uma barra metálica para tirar o excesso e pesado o recipiente com o material contido nele como apresenta a Figura 18.

Figura 18 - Recipiente metálico com agregado graúdo



Fonte: Autora

Este procedimento foi realizado para o agregado graúdo fornecido pela AB areias.

### **Determinação do teor de materiais pulverulentos**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 7219, utilizando-se um conjunto de duas peneiras 1,2mm e 0,075mm, água, balança digital e 1kg de amostra de agregado miúdo.

Inicialmente, foi separado 1kg de agregado miúdo, previamente seco na estufa e esfriado em temperatura ambiente, com auxílio de uma balança digital.

Em seguida, o material foi colocado sobre conjunto de peneiras, onde a peneira de malha 1,2mm estava sobreposta na peneira de malha 0,075mm, e recoberta com água em excesso.

Agitou-se vigorosamente o material de forma a provocar a separação e suspensão das partículas finas e despejou-se cuidadosamente a água para não perder material. Posteriormente, a amostra de areia foi colocada debaixo de água corrente, realizando-se a lavagem do material como se pode observar na Figura 19. Repetiu-se a operação até que a água de lavagem se tornou límpida.

Figura 19 - Lavagem da amostra de areia



Fonte: Autora

Os materiais retidos nas peneiras foram removidos em um recipiente como mostra a Figura 20 e seco na estufa conforme a Figura 21. Após esfriado, foi realizado a pesagem.

Figura 20 - Amostra de areia lavada



Fonte: Autora

Figura 21 - Material seco em estufa



Fonte: Autora

### **Determinação de impurezas orgânicas em agregados miúdos**

Neste ensaio foi utilizado a norma NBR 7220 para a determinação de impurezas orgânicas do agregado miúdo fornecido pela AB areias. Para tanto, utilizou-se 200g de amostra, solução de hidróxido de sódio a 3% e solução de ácido tânico a 2%.

Inicialmente foi colocado 200g de amostra em um béquer, adicionou-se 100mL da solução de hidróxido de sódio a 3% e agitou-se vigorosamente. Este foi deixado em repouso por 24h.

Simultaneamente, foi preparado uma solução padrão em outro béquer, adicionando 3mL da solução de ácido tânico, 97mL da solução de hidróxido de sódio e agitou-se. Este também foi deixando em repouso por 24h.

Completado as 24h, filtrou-se a solução que esteve em contato com o agregado e foi comparado a cor da solução da amostra com a cor da solução padrão como mostra a Figura 22.

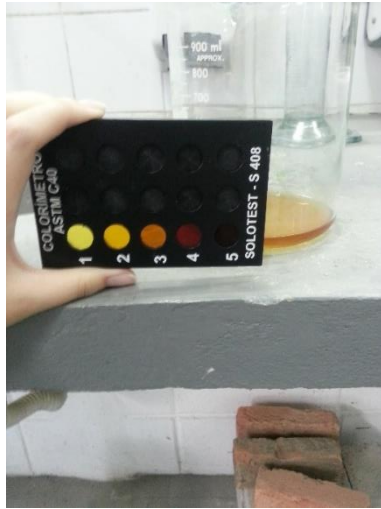
Figura 22 - Comparação da coloração entre a solução padrão (à direita) e solução com a amostra (à esquerda)



Fonte: Autora

Para a determinação de impurezas orgânicas do agregado miúdo fornecido pela RCC Ambiental utilizou-se a norma ASTM C40, sendo que o procedimento realizado foi similar ao anterior. Entretanto, neste, foi comparado a cor da solução da amostra com um comparador colorimétrico como apresenta a Figura 23.

Figura 23 - Comparação da coloração da solução da amostra com um comparador colorimétrico



Fonte: Autora

### **Determinação de contaminação do agregado graúdo por material cerâmico**

Como observou-se a presença de material cerâmico no agregado graúdo fornecido pela AB areias, conforme orientação do professor, separou-se 300g do material para a análise.

Inicialmente, pesou-se 300g do material em uma balança digital. Então, separou-se manualmente o material cerâmico por método de catação como se pode observar na Figura 24. Logo após, realizou-se a pesagem do material cerâmico separado, para posteriormente determinar a porcentagem de material cerâmico presente na amostra.

Figura 24 - Material cerâmico separado por método de catação



Fonte: Autora

### **Determinação da composição de agregados reciclados graúdos por análise visual**

Para a determinação da composição de agregados graúdos fornecidos pela RCC Ambiental, utilizou-se o material fornecido e a balança.

Conforme orientação do professor, inicialmente, foi realizado a pesagem da amostra na balança. Em seguida, a amostra foi separada utilizando-se o método de catação, em diferentes categorias de matérias listadas a seguir:

- Cimento e Concreto
- Tijolo
- Cerâmica branca
- Cerâmica vermelha
- Material asfáltico
- Agregado
- Fragmentos de rocha
- Torrão de argila e materiais friáveis
- Gesso
- Lixo (plástico, borracha, vidro)

Por fim, cada material foi pesado para posteriormente análise da composição.

### **Determinação da resistência à compressão do cimento**

Para a comparação entre a resistência à compressão da argamassa composta com a amostra de areia fornecida pela RCC Ambiental e a argamassa padrão, as confecções dos corpos de provas foram realizadas baseando-se na norma NBR 7215.

Inicialmente, foram moldados 12 corpos de prova, sendo que na metade foi utilizada areia normal na composição da argamassa e na outra metade foi utilizada amostra de areia como mostra a Figura 25.



Figura 25 - Corpos de prova com areia normal (à esquerda) e com amostra de areia (à direita)



Fonte: Autora

Foram utilizados 624g de cimento (CP 40), 300g de água e 1872g de areia para a elaboração de cada argamassa, sendo que para o caso da areia normal, foram utilizadas 468g de cada fração de areia (grossa, média grossa, média fina e fina).

A argamassa foi preparada em um misturador mecânico, colocando-se inicialmente a água e o cimento na cuba e misturando em uma velocidade baixa por 30 segundos. Ainda com o misturador ligado, colocou-se gradualmente a areia durante 30 segundos. Logo após, aumentou-se a velocidade para alta, misturando-se os materiais por 30 segundos. Depois, desligou-se o misturador e foi retirado a argamassa que ficou aderida nas paredes e pá com o auxílio de uma espátula. Durante 1 minuto e 15 segundos, deixou-se a argamassa em repouso, e após este intervalo, o misturador foi ligado novamente na velocidade alta, misturando-se os materiais durante 1 minuto.

No processo de moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes com dimensões de 50mm de diâmetro e 100mm de altura.

Os moldes foram previamente untados com uma leve camada de óleo e a moldagem dos corpos de prova foi feita manualmente por um procedimento normalizado. A argamassa foi colocada no molde com o auxílio de espátula como mostra a Figura 26. Para cada  $\frac{1}{4}$  do volume do molde preenchido, golpeou-se 30 vezes o conteúdo, de forma uniformemente distribuída, com o soquete e realizou-se a rasadura do topo como apresenta a Figura 27 utilizando uma régua, dando-lhe um ligeiro movimento de vaivém.

Figura 26 - Argamassa colocada no molde



Fonte: Autora

Figura 27 - Molde preenchido e realizado a rasadura



Fonte: Autora

Após a moldagem, realizou-se a cura inicial dos corpos de prova, ainda nos moldes, durante 24h.

Terminado o período inicial de cura, os corpos de prova foram retirados das formas e foram imersos na água conforme a Figura 28, permanecendo até o momento do ensaio.

Figura 28 - Corpos de prova imersos na água



Fonte: Autora

Conforme instruções do orientador, os corpos de prova foram rompidos aos 21 dias de idade, utilizando-se uma prensa manual para realizar o rompimento destes como se pode observar na Figura 29.

Figura 29 - Rompimento do corpo de prova utilizando uma prensa manual



Fonte: Autora

Com o intuito de verificar um efeito de pozolanização na argamassa composta com amostra de areia, posteriormente, confeccionou-se 12 corpos de prova utilizando apenas a argamassa com amostra de areia fornecida pela RCC Ambiental. Para averiguar este efeito,

romperam-se 4 corpos de prova aos 30 dias, 4 corpos de prova aos 60 dias e 4 corpos de prova restantes aos 90 dias.

### **Dosagem de concreto**

Com as devidas caracterizações dos materiais fornecidos pela AB areias, realizou-se a dosagem volumétrica do concreto utilizando o método ACI.

Inicialmente, definiu-se todos os parâmetros de projeto e dos materiais. Em seguida, calculou-se os consumos de água, cimento, agregado graúdo e agregado miúdo para a elaboração do concreto.

Depois de obter o traço, foi estabelecido um volume de concreto suficiente para realização do ensaio de consistência e para compor 4 corpos de prova necessárias para a realização do ensaio de resistência.

O concreto foi preparado através de mistura mecânica utilizando-se uma betoneira.

A concretagem se procedeu com a limpeza da betoneira e mistura dos materiais, adicionando na ordem respectiva de água, agregado graúdo, agregado miúdo e cimento, visando uma mistura adequada no menor tempo possível. Uma parcela de água foi reservada para ser adicionado conforme a necessidade, após a adição do cimento na mistura.

## ANEXO A – Tabelas de distribuição granulométrica

Tabela 6 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: (ABNT NBR 7211/2005)

Tabela 7 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
9,5 mm	2 - 15 <sup>2)</sup>	80 <sup>2)</sup> - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 <sup>2)</sup> - 65 <sup>2)</sup>	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>2)</sup> - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

<sup>1)</sup> Zona granulométrica correspondente à menor ( $d$ ) e à maior ( $D$ ) dimensões do agregado graúdo.

<sup>2)</sup> Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: (ABNT NBR 7211/2005)

## ANEXO B – Tabelas de limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas nos agregados

Tabela 8 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação a massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos <sup>1)</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas <sup>2)</sup>	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10 %
<sup>1)</sup> Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).			
<sup>2)</sup> Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.			

Fonte: (ABNT NBR 7211/2005)

Tabela 9 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação a massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos <sup>1)</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0

Tabela 9 (Conclusão)

Determinação	Método de ensaio	Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento) <sup>2), 3)</sup>	ABNT NBR NM 46	1,0
<p><sup>1)</sup> Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).</p> <p><sup>2)</sup> Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a ABNT NBR NM 53, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.</p> <p><sup>3)</sup> Para agregado total, definido conforme 3.6, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, realizada de acordo com a ABNT NBR 7389, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.</p>		

Fonte: (ABNT NBR 7211/2005)