

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS /MG**  
**ENGENHARIA CIVIL**  
**LAURIANA PEREIRA COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO AGREGADO GRÁUDO RECICLADO DE  
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE  
CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS**

**Varginha/MG**

**2018**

**LAURIANA PEREIRA COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO AGREGADO GRÁUDO RECICLADO DE  
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE  
CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharelado, sob orientação da Professora Luana Ferreira Mendes.

**Varginha/MG**

**2018**

**LAURIANA PEREIRA COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO AGREGADO GRÁUDO RECICLADO DE  
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA UTILIZAÇÃO DE  
CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG), como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharelado pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

**Prof. Esp. Luana Ferreira Mendes (Orientadora)**

---

**Prof.**

---

**Prof.**

**OBS.:**

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, e de todo sustento durante minha vida acadêmica. Em especial agradeço minha família que sempre acreditou e lutou por mim. Agradeço meu pai, Edison, pois foi através dele que tive a vontade de entrar na Engenharia Civil. A minha mãe, Regiane, agradeço pelos puxões de orelhas nas horas necessárias. Meus avós, Pedro e Laura obrigada por me fazer cada dia buscar sem uma pessoa melhor. A minha irmã, Layane, pelas horas sem dormir a fim de me ajudar a entender os tempos e concordâncias verbais. Agradeço demais da conta meu namorado, Bruno, o qual durante todos os anos soube lidar com meus nervosíssimos e extresses momentâneos, sempre buscando me acalmar em momentos que eu achava que não tinha solução. Meu tio, Adriano, agradeço pelo incentivo, a qual desde eu pequena me fazia testes de tabuadas e várias continhas de matemática, me fazendo apaixonar pelos cálculos. Não posso deixar de agradecer minha irmã Marina e meu cunhado Jonathan pela ajuda nas impressões desde o início da minha faculdade, os quais nunca reclamaram, estando sempre prontos a me socorrer em várias horas. Agradeço a Construtora Rotev por ter aberto suas portas para o meu primeiro estágio, o qual me proporcionou grandes conhecimentos frente a projetos arquitetônicos. Agradeço ao Felipe Cazelado da Leão Soares Construtora, o qual concedeu o meu segundo estágio, onde o aprendizado foi de grande importância e valia. Venho agradecer também ao Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem- CRG SUL/Varginha, em especial o Doutor Raimundo Joaquim Zaiden Silva, pela oportunidade de estágio nesse último ano de faculdade, o qual sou extremamente grata pelos aprendizados e conhecimentos que estão sendo proporcionados. Aos Engenheiros Alberto Branquinho, William Pimenta e Caio César de Lima pelos ensinamentos, e a Ana Lúcia, Liriam, Maraíza e aos demais companheiros de trabalho fica meus singelos agradecimentos. A todos meus professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Em especial agradeço a Professora Luana Ferreira Mendes, minha orientadora, o qual buscou de todos os lados e meios para me auxiliar, demonstrando dedicação e disponibilidade nas horas necessárias. Meus agradecimentos também para o pessoal que trabalha na Biblioteca no período integral que são uns amores, em especial a Thaína, que estavam sempre dispostos me auxiliando na procura de livros que eu necessitava. Agradeço o Grupo Pedreira Santo Antonio pelo fornecimento do agregado gráudo convencional, o qual eu utilizei como análise nesse trabalho, em especial a Thássia que esteve sempre pronta para me auxiliar, não medindo esforços para ajudar no que eu necessitava. A Empresa Eco Vias agradeço também pelo fornecimento do agregado gráudo reciclado, objeto de análise nesse trabalho, em questão o Rodrigo que me atendeu muito bem todas as vezes que precisei ir à recicladora. No mais meu agradecimento a todos os meus companheiros de sala, o qual tive a oportunidade de conviver durante cinco anos.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

## RESUMO

É notório, nos dias atuais, o problema de escassez nas jazidas de materiais utilizados na construção civil levando a estudos e pesquisas sobre novas fontes e recursos de materiais que possam ser substitutos. Dentre esses materiais, encontram-se os resíduos da construção civil, os quais podem ser reciclados e utilizados como agregados. A utilização desse agregado reciclado, além de servir como substituto de materiais, também ameniza o problema de saneamento no que tange a disposição e volume desses resíduos no meio ambiente após descarte. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade do agregado graúdo reciclado de resíduos de construção civil e demolição, por meio do estudo teórico e experimental avaliando sua aplicação na confecção de concretos não estruturais. Através de ensaios normatizados foi possível fazer um comparativo das características e propriedades do agregado graúdo reciclado e do agregado graúdo convencional. Posteriormente foi realizada uma análise nas dosagens experimentais de concretos utilizando o agregado graúdo reciclado, alternando o tipo de agregado miúdo e o tipo de Cimento Portland. Com os resultados obtidos foi possível encontrar uma dosagem de concreto de melhor custo-benefício para implantação em concretos não estruturais.

**Palavras-chave: Resíduos da construção civil. RCC. Concretos sustentáveis.**

## ***ABSTRACT***

*It is notorious, at the present time, the problem of scarcity in the deposits of materials used in the civil construction leading to studies and research on new sources and resources of materials that can be substitutes. Among these materials are the construction waste, which can be recycled and used as aggregates. The use of this recycled aggregate, besides serving as a substitute for materials, also alleviates the sanitation problem regarding the disposal and volume of these wastes in the environment after disposal. The aim of this work was to verify the viability of the recycled aggregate of construction and demolition waste by means of a theoretical and experimental study evaluating its application in the construction of non-structural concrete. Through standardized tests it was possible to make a comparison of the characteristics and properties of the recycled aggregate and the conventional aggregate. Subsequently, an analysis was performed on the experimental dosages of concrete using the recycled aggregate, alternating the type of aggregate and the type of Portland cement. With the results obtained it was possible to find a more cost-effective concrete dosage for implantation in non-structural concretes.*

*Keywords: Construction waste. RCC. Sustainable concrete.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Modelo de britador de impacto.....	40
Figura 2-Edifício Torre Almirante.....	41
Figura 3-Representação esquemática das condições de umidade do agregado para concreto ..	47
Figura 4- Porcentagem de argamassa aderida em função da dimensão média das partículas ....	54
Figura 5- Porcentagens médias por volume de um concreto comum .....	57
Figura 6- Eco Vias em Varginha-Mg .....	63
Figura 7-Resíduos depositados no pátio da empresa.....	64
Figura 8- Resíduos em processo de britagem.....	65
Figura 9- Esteiras que interligam na peneira vibratória .....	65
Figura 10-Montes específicos em função da granulometria dos agregados reciclados.....	66
Figura 11-Cimento Portland utilizados .....	68
Figura 12-Separador mecânico.....	70
Figura 13-Peneiras da série normal e série intermediária.....	72
Figura 14- Peneiramento no agitador mecânico.....	74
Figura 15- Agregado reciclado e agregado convencional coberto por água .....	77
Figura 16-Procedimento do ensaio.....	84
Figura 17-Agregado miúdo após a retira do molde.....	86
Figura 18- Procedimento do ensaio de massa específica do cimento.....	88
Figura 19- Curva de Abrams.....	92
Figura 20-Procedimento da execução de concreto.....	95
Figura 21-Cura inicial dos corpos de provas.....	97
Figura 22-Cura úmida dos corpos de prova .....	98
Figura 23-Tipos de rompimentos dos corpos cilíndricos .....	100
Figura 24-Agregado Convencional retido na peneira de 12,50 mm até o fundo.....	102
Figura 25- Material convencional retido na peneira 1,18 mm e 75 $\mu$ m .....	103
Figura 26-Amostra convencional após lavagem .....	104
Figura 27- Agregado Reciclado retido na peneira de 12 mm até o fundo.....	109
Figura 28- Material reciclado retido na peneira 1,18 mm e 75 $\mu$ m .....	110
Figura 29-Amostra Reciclada após lavagem .....	111
Figura 31-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CII aos 14 dias.....	133
Figura 32-Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CII aos 14 dias .....	133
Figura 33-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CII aos 28 dias.....	134
Figura 34- Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CII aos 28 dias .....	135
Figura 35-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CPV aos 14 dias.....	136

Figura 36- Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPV aos 14 dias .....	136
Figura 37-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CPV aos 28 dias.....	137
Figura 38-Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPV aos 28 dias .....	138

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1- Papel social dos agregados.....	24
Gráfico 2- Consumo de agregados no mundo em 2014 .....	25
Gráfico 3-Evolução das curvas de agregados no período de 1997 a 2022 .....	26
Gráfico 4- Consumo de agregados no Brasil em 2014 .....	26
Gráfico 5- Curva granulométrica agregado convencional.....	102
Gráfico 6- Curva granulométrica agregado convencional para NBR 7809.....	107
Gráfico 7- Curva granulométrica agregado convencional.....	108
Gráfico 8-Curva granulométrica para ensaio de paquímetro.....	114

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de agregados e suas dimensões características.....	22
Tabela 2-Utilidade dos tipos de agregados.....	24
Tabela 3- Taxa de geração de resíduos de construção.....	27
Tabela 4- Variabilidade de materiais presentes no RCD.....	30
Tabela 5- Comparativo da composição dos resíduos de construção e demolição .....	31
Tabela 6- Classificação dos resíduos sólidos .....	33
Tabela 7- Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil.....	34
Tabela 8-Destinação dos resíduos após triagem em função da classe.....	34
Tabela 9- Produtos do RCC- características e aplicações .....	42
Tabela 10- Caracterização dos agregados graúdos.....	44
Tabela 11- Características físicas do agregado graúdo reciclado.....	45
Tabela 12- Propriedades de agregados de concreto reciclado .....	48
Tabela 13- Absorção de água no agregado de alvenaria de tijolo cerâmico reciclado.....	48
Tabela 14- Porcentagem de absorção dos agregados encontrados por diferente estudiosos .....	48
Tabela 15- Levantamento bibliográfico relativo à taxa de absorção dos agregados reciclados.....	49
Tabela 16- Levantamento bibliográfico relativo à massa específica e massa unitária dos agregados reciclados de concreto .....	51
Tabela 17- Diferenças entre concreto reciclado e concreto natural.....	58
Tabela 18-Quantidade de amostras a serem coletadas para ensaios físicos ou químicos.....	69
Tabela 19-Massa mínima por amostra de ensaio.....	71
Tabela 20- Série de peneiras .....	71
Tabela 21- Máxima quantidade de material sobre as telas das peneiras .....	73
Tabela 22- Característica do recipiente .....	75
Tabela 23- Massa mínima da amostra para ensaio.....	76
Tabela 24- Massa mínima de amostra de ensaio .....	78
Tabela 25- Massa mínima de amostra para ensaio .....	80
Tabela 26- Quantidade mínima de material para ensaio .....	81
Tabela 27- Limites da composição granulométrica do agregado graúdo .....	82
Tabela 28-Designação dos Tipos de Cimento Portland.....	87
Tabela 29-Resistência à compressão dos tipos de Cimento Portland em função dos dias .....	87
Tabela 30- Condição de preparo do concreto.....	90
Tabela 31- Valores de $\psi_6$ em função da condição de preparo e o número de exemplares .....	91
Tabela 32- Consumo de água aproximada .....	92
Tabela 33-Volume do agregado graúdo seco .....	93

Tabela 34-Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	97
Tabela 35-Tolerância de tempo para o rompimento.....	99
Tabela 36-Resistência à compressão em função do tipo de cimento em função dos dias.....	100
Tabela 37- Análise granulométrica agregado convencional.....	101
Tabela 38- Massa unitária do Agregado Convencional.....	103
Tabela 39- Material passante na peneira 0,075 mm em Agregado Convencional .....	104
Tabela 40-Verificação de parâmetros agregados convencionais.....	104
Tabela 41- Massas específicas agregados convencionais.....	105
Tabela 42- Resultado ensaio NR 53 agregado convencional .....	105
Tabela 43- Resultado de massas específicas agregado convencional .....	105
Tabela 44- Análise granulométrica agregado convencional para ensaio de paquímetro.....	106
Tabela 45-Análise granulométrica agregado convencional.....	108
Tabela 46 -Massa unitária agregado graúdo.....	110
Tabela 47- Verificação de parâmetros de agregados reciclados.....	111
Tabela 48-Massas específicas agregados reciclados .....	112
Tabela 49-Resultado ensaio NR-53 agregados reciclado .....	112
Tabela 50- Teor de umidade no agregado reciclado.....	112
Tabela 51-Análise granulométrica para ensaio de paquímetro.....	113
Tabela 52-Análise granulométrica do agregado miúdo grosso .....	118
Tabela 53- Análise granulométrica do agregado miúdo médio.....	119
Tabela 54-Massa unitária dos agregados miúdos .....	120
Tabela 55-Massa específica dos agregados miúdos .....	120
Tabela 56- Absorção de água nos agregados miúdos.....	121
Tabela 57-Massa específica dos tipos de Cimento Portland .....	123
Tabela 58-Dados dos materiais Dosagem 1 .....	124
Tabela 59-Consumo inicial de materiais Dosagem 1 .....	125
Tabela 60-Consumo total de materiais Dosagem 1 .....	125
Tabela 61-Traço inicial Dosagem 1 .....	125
Tabela 62-Correções Dosagem 1.....	126
Tabela 63-Dados dos materiais Dosagem 2 .....	126
Tabela 64- Consumo inicial de materiais Dosagem 2 .....	127
Tabela 65-Consumo total de materiais Dosagem 2 .....	127
Tabela 66-Traço inicial Dosagem 2 .....	127
Tabela 67- Correções Dosagem 2.....	128
Tabela 68-Dados dos materiais Dosagem 3 .....	128
Tabela 69- Consumo inicial de materiais Dosagem 3 .....	129
Tabela 70- Consumo total de materiais Dosagem 3 .....	129

Tabela 71- Traço inicial Dosagem 3 .....	129
Tabela 72- Correções Dosagem 3.....	130
Tabela 73-Dados materiais Dosagem 4 .....	130
Tabela 74-Consumo inicial de materiais Dosagem 4 .....	131
Tabela 75-Consumo total de materiais Dosagem 4 .....	131
Tabela 76- Traço inicial Dosagem 4 .....	131
Tabela 77-Correções Dosagem 4.....	132
Tabela 78-Resistência aos 14 dias com CPH .....	132
Tabela 79-Resistência aos 28 dias com CPH .....	134
Tabela 80-Resistência aos 14 dias com CPV .....	135
Tabela 81-Resistência aos 28 dias com CPV .....	137
Tabela 82-Resumo das Dosagens Finais .....	138
Tabela 83-Orçamento dos materiais.....	139
Tabela 84-Custo da Dosagem 1 .....	139
Tabela 85-Custo da Dosagem 2.....	139
Tabela 86-Custo da Dosagem 3.....	140
Tabela 87-Custo da Dosagem 4.....	140
Tabela 88-Resumo das Resistências à compressão das dosagens realizadas .....	140

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Geral .....	19
1.1.2 Específico .....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 A importância da Reciclagem .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Agregados.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Definição .....	21
2.2.2 Classificação.....	22
2.2.3 Utilização .....	23
2.2.4 Consumo.....	25
<b>2.3 Resíduos de Construção e Demolição .....</b>	<b>27</b>
2.3.1 Definição .....	29
2.3.2 Composição.....	29
2.3.3 Leis e Normas Regulamentadoras.....	32
2.3.4 Disposição .....	36
2.3.5 Processamento .....	37
2.3.6 Reutilização .....	38
<b>2.4 Processo de produção Agregado .....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Agregado Reciclado .....	39
<b>2.5 Vantagens na utilização de Agregados Reciclados.....</b>	<b>40</b>
<b>2.6 A utilização do Agregado Reciclado.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7 Caracterização do Agregado Graúdo Reciclado .....</b>	<b>43</b>
2.7.1 Granulometria.....	45
2.7.2 Absorção de água .....	46
2.7.3 Massa específica e Massa Unitária.....	51
2.7.4 Argamassa aderida .....	53
2.7.5 Forma dos grãos .....	55
2.7.6 Teor de material pulverulento .....	56
<b>2.8 Caracterização do Concreto com Agregado Reciclado .....</b>	<b>56</b>
2.8.1 Porcentagem de substituição .....	59

2.8.2	Absorção de água .....	60
2.8.3	Trabalhabilidade.....	61
2.8.4	Resistência à compressão .....	61
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E METÓDOS.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo do estudo de caso .....</b>	<b>63</b>
<b>3.2</b>	<b>Local do Estudo .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3</b>	<b>Coleta do material de estudo e seu armazenamento .....</b>	<b>66</b>
3.3.1	Agregado Convencional.....	66
3.3.2	Agregado Reciclado .....	67
3.3.3	Agregado Miúdo .....	67
3.3.4	Cimento Portland.....	67
<b>3.4</b>	<b>Caracterização dos materiais por meios de ensaios .....</b>	<b>68</b>
3.4.1	Agregado Graúdo .....	69
3.4.1.1	Amostragem dos agregados (NBR NM 26:2009).....	69
3.4.1.2	Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (NBR NM 27: 2001). 70	
3.4.1.3	Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2001).....	70
3.4.1.4	Determinação de massa unitária (NBR NM 45: 2006) .....	75
3.4.1.5	Determinação material fino que passa através da peneira 75 µm (NBR NM 46: 2001).....	76
3.4.1.6	Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção (NBR NM 53: 2009).....	78
3.4.1.7	Determinação do teor de umidade total (NBR 9939:2011) .....	80
3.4.1.8	Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (NBR 7808:2006)81	
3.4.2	Agregado Miúdo .....	83
3.4.2.1	Amostragem dos agregados (NBR NM 26: 2009).....	83
3.4.2.2	Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (NBR NM 27: 2001). 83	
3.4.2.3	Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2001).....	83
3.4.2.4	Determinação de massa unitária (NBR NM 45: 2006) .....	84
3.4.2.5	Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (NBR 9776:1987).....	84
3.4.2.6	Determinação da absorção de água (NBR NM 30: 2001).....	85
3.4.3	Cimento Portland.....	86
3.4.3.1	Cimento Portland e outros materiais em pó- Determinação da massa específica (NBR NM 23: 2000) .....	88

<b>3.5 Determinação da dosagem do concreto</b> .....	89
3.5.1 Concreto de Cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimentos (NBR 12655:2015).....	89
3.5.2 Método ABCP.....	91
3.5.3 Concreto- Preparação de concretos em laboratório (NBR NM 79:1996).....	94
3.5.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67: 1998).....	95
3.5.5 Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (NBR 5738:2016).....	96
3.5.6 Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (NBR 5739:2018).....	98
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>101</b>
<b>4.1 Agregado Graúdo Convencional</b> .....	101
4.1.1 Composição granulométrica.....	101
4.1.2 Massa unitária .....	103
4.1.3 Material passante na peneira 7575 µm ,por lavagem.....	103
4.1.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção .....	105
4.1.5 Teor de Umidade Total .....	105
4.1.6 Índice de forma.....	106
<b>4.2 Agregado Graúdo Reciclado</b> .....	107
4.2.1 Composição granulométrica.....	107
Fonte: A autora.....	109
4.2.2 Massa unitária .....	110
4.2.3 Material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem .....	110
Tabela 48- Verificação de parâmetros de agregados reciclados .....	111
4.2.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção .....	112
4.2.5 Teor de umidade total.....	112
4.2.6 Índice de forma.....	113
<b>4.3 Análise comparativa dos resultados dos agregados graúdos</b> .....	114
4.3.1 Composição granulométrica.....	114
4.3.2 Massa unitária .....	115
4.3.3 Material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem .....	115
4.3.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção. ....	116
4.3.5 Teor de umidade total.....	117
4.3.6 Índice de forma.....	118
<b>4.4 Agregados Miúdos</b> .....	118



4.4.1	Composição granulométrica.....	118
4.4.2	Massa unitária .....	120
4.4.3	Massa específica.....	120
4.4.4	Absorção de água .....	121
<b>4.5</b>	<b>Análise comparativa dos agregados miúdos .....</b>	<b>121</b>
4.5.1	Composição granulométrica.....	121
4.5.2	Massa unitária .....	122
4.5.3	Massa específica.....	122
4.5.4	Absorção de água .....	122
<b>4.6</b>	<b>Cimentos Portland.....</b>	<b>123</b>
4.6.1	Massa específica.....	123
4.6.2	Análise comparativa.....	123
<b>4.7</b>	<b>Dosagens dos concretos .....</b>	<b>124</b>
4.7.1	Dosagem 1 .....	124
4.7.2	Dosagem 2.....	126
4.7.3	Dosagem 3 .....	128
4.7.4	Dosagem 4.....	130
<b>4.8</b>	<b>Resistência a Compressão dos Concretos.....</b>	<b>132</b>
4.8.1	Resistência com Cimento Portland CPII.....	132
4.8.2	Resistência com Cimento Portland CPV.....	135
<b>4.9</b>	<b>Análise do custo x benefício dos Concretos Dosados .....</b>	<b>138</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>142</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>143</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO A .....</b>	<b>152</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO B.....</b>	<b>156</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Houve um tempo em que os impactos ambientais não eram considerados um fator preocupante, pois a geração de resíduos era baixa e a possibilidade de descarte no meio ambiente era grande. Entretanto, com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico, houve um aumento da geração desses resíduos, tornando-se um dos grandes problemas da construção civil. Uma vez que, a construção civil é responsável por uma grande quantidade de resíduos sólidos gerados atualmente, sendo esses oriundos de construções, reformas e demolições. Tais resíduos têm gerado grandes impactos no meio ambiente, onde são depositados em áreas impróprias para seu descarte, resultando em efeitos deteriorantes do ambiente local. Como por exemplo, a interferência na paisagem, comprometendo a drenagem urbana, assoreamento dos recursos hídricos, multiplicação de vetores de doenças, dentre outros.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) está sendo vista como uma alternativa eficaz na redução de impactos gerados pelo consumo desordenado de matéria prima e por esta disposição inadequada. Sendo que, essa reciclagem dá origem a materiais granulares, que podem e vem sendo utilizados a fim de substituir os agregados convencionais.

O objetivo deste trabalho é estudar e verificar a viabilidade do agregado graúdo reciclado oriundo de resíduos da construção civil e demolição em concretos não estruturais. Para chegar a este objetivo, foi realizado um estudo bibliográfico e análise experimental das características destes agregados em comparação aos agregados convencionais, e posteriormente a realização de dosagens experimentais com o agregado reciclado em concretos.

A caracterização dos agregados graúdos reciclados e convencionais, bem como os agregados miúdos foram realizados em conformidades com normas específicas. Sendo verificados a granulometria desses agregados, sua massa específica e massa unitária, o índice de absorção, a quantidade de materiais finos presentes bem como o seu índice de forma.

As dosagens experimentais de concreto foram realizadas seguindo normas e métodos específicos, os quais foram variados o tipo de Cimento Portland e o tipo de agregado miúdo, a fim de verificar o melhor entrosamento do agregado graúdo reciclado, buscando melhor custo-benefício.

Com resultados obtidos nas análises em questão, foi possível observar que o agregado graúdo reciclado pode ser utilizado em concretos não estruturais desde que esteja em uma dosagem adequada.

## **1.1 Objetivos**

Para este trabalho, foram estipulados alguns objetivos, subdivididos em geral e específicos.

### **1.1.1 Geral**

Esta pesquisa tem por objetivo geral comparar as características e propriedades do agregado graúdo reciclado de resíduo sólido da construção civil com os agregados convencionais, e posteriormente a implantação desse agregado reciclado no setor da construção civil na elaboração de concretos não estruturais.

### **1.1.2 Específico**

- Realizar análises com bases nas normativas pertinentes para a caracterização do agregado graúdo proveniente dos resíduos de construção civil e de demolição no município de Varginha, MG.
- Relatar o comportamento do resíduo como agregado, demonstrando suas características e propriedades, por meio de testes em laboratório, comparando os resultados com o agregado convencional;
- Verificar através dos resultados obtidos em laboratório há possibilidade de utilizar o agregado graúdo reciclado em concretos;
- Demonstrar o comportamento do concreto com utilização de agregado graúdo de resíduo da construção civil, visando demonstrar a possibilidade de um melhor custoxbenefício.

## **2 REFERENCIAL TEÓRIO**

### **2.1 A importância da Reciclagem**

Segundo Fernandes (2015) as atividades de reciclagem são definidas como as ações que visam a reutilizar materiais e produtos, com o intuito de estender o ciclo de vida do material e reduzir os impactos da disposição ou emissão de poluentes.

A reciclagem para Gonçalves, R. (2001) não apenas dispõem um novo material no mercado, mas traz o benefício de possuir custo mais baixo que os convencionais.

Inúmeros benefícios são gerados com a reciclagem na construção civil, como a redução de recursos não renováveis, minimização no volume de resíduos, redução do consumo de energia, redução de poluentes no meio ambiente e redução de áreas de aterro.

Para Hood (2006) a vida útil de um produto/material é sempre ilimitada, não existindo produto que não se torne resíduo. Sendo assim, quando se minimiza a geração desses resíduos e se reutiliza esse material através da reciclagem, esse resíduo se transforma em um subproduto.

Os Resíduos de Construção e Demolição causa tantos problemas à vida urbana e ao meio ambiente, que a melhor solução é o mesmo ser visto como uma fonte de materiais que podem ser reutilizados na construção civil (OLIVEIRA E MENDES, 2008).

Segundo Fagury e Grande (2007 apud FERNANDES, 2015) os resíduos de construção e demolição apresentam um elevado potencial de reciclagem, podendo ser usado como matéria prima para produzir materiais de construção.

Os estudos de reciclagem de acordo com Silva (2000 apud MOREIRA e FIGUEIREDO, 2010), começaram a receber impulso recentemente por questões políticas, econômicas e ambientais.

No Brasil e no mundo, de uma forma geral, tem crescido as pesquisas buscando soluções para os problemas dos resíduos gerados pela construção civil (BLUMENSCHNEIN, 2004 apud SILVA, et al., 2014).

A reciclagem dos RCD é uma alternativa que visa a amenizar os impactos que o consumo de matéria prima e energia e a geração de resíduos vem causando no meio ambiente (LOVATO, 2007).

A reciclagem surgiu como uma maneira de combater os problemas que são causados pela geração de resíduos, sendo demonstrado como uma das soluções mais adotadas em vários países há alguns anos (SILVA, 2004).

Pode-se dizer que em 1946 teve o início do desenvolvimento da tecnologia de reciclagem dos resíduos de construção civil e demolição, onde a primeira aplicação foi registrada após o fim da Segunda Guerra Mundial, para reconstrução de cidades europeias, onde os entulhos foram britados para produção dos agregados, com o objetivo de atender a demanda da época. (Wedler; Hummel 1946 apud LEVY, S., 2006).

No Brasil, essa pratica começou a ser implantada recentemente em formas isoladas por alguns municípios. A primeira Usina de Reciclagem no Brasil foi inaugurada no ano de 1991,

na zona sul de São Paulo no bairro Santo Amaro, denominada Usina de Reciclagem de Entulho de Itatinga.

Conforme Jadovski (2005 apud LOVATO, 2007), há cinco municípios com usinas de reciclagem em operação no país, sendo eles: São Paulo, Belo Horizonte, Socorro, Vinhedo e Piracicaba.

A reutilização dos resíduos é fundamental, pois visa à preservação das reservas e matérias primas, além de vantagens de caráter econômico e ambiental (BUTTLER, 2003).

Para Arruda (2005 apud SOUZA, I., 2017), a reciclagem é considerado uma medida necessária para transformar um RCD em um novo produto.

De acordo com Moreira e Figueiredo (2010), não basta apenas possuir um sistema de reciclagem, mas é necessário atender as exigências de mercado para ser possível a absorção desses produtos.

Em alguns países europeus a fração reciclada pode chegar a torno de 90% enquanto que no Brasil esse tipo de reciclagem ainda é áspera, destacando-se apenas a reciclagem desempenhada pelas indústrias de cimento e aço (PANKA e MACHOSKI, 2011).

O uso do RCD é de fundamental importância, sendo necessária a conscientização do ganho que se tem com a reciclagem, pois são aproveitados materiais que seriam descartados como lixo, podendo se transformar em matéria prima, passando de problema para uma solução (BATISTA, 2009).

Os empreendimentos responsáveis pela reciclagem dos resíduos provenientes da construção e demolição colocam os entulhos que encheriam os lixões, aterros, dentre outros como novos produtos no mercado, sendo mais rentável e reduzindo os impactos ambientais (GONÇALVES, E., 2015).

## **2.2 Agregados**

### **2.2.1 Definição**

Os agregados para Construção civil são definidos como materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras. (LA SERNA, 2003; REZENDE, 2003).

De acordo com (BAUER, 2000; ABULQUERQUE, 2000) o agregado é considerado um material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

O termo agregado para a construção civil é usado para identificar os componentes minerais que produz matéria prima mineral para ser utilizados em obras de construção civil. Podendo ser citados as rochas britadas, areia e cascalho.

### 2.2.2 Classificação

Os agregados se classificam segundo a sua origem, dimensões de suas partículas e o peso específico aparente (BAUER, 2000; ABULQUERQUE, 2000).

Segundo sua origem são classificados em naturais e industriados. Os naturais são os que já encontram em forma particularizada na natureza, como exemplo tem os cascalhos, areia ou pedregulhos. (LA SERNA, 2003; REZENDE, 2003). Conforme os autores, os agregados industrializados por sua vez, também chamados de artificiais, são os que possuem em sua composição partículas obtidas por processos industriais, citando como exemplo as areias artificiais, escorias de alto forno, argilas expandidas, pedras britadas, entre outros.

A classificação quando as dimensões/granulometria das partículas são subdivididas em agregado miúdo e agregado graúdo. De acordo com a ABNT (NBR 7211/2009) os agregados miúdos são cujos grãos passantes pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm de acordo com o ensaio disposto na ABNT NM248. Os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidas na peneira com abertura de malha 4,75mm são classificados, conforme a norma, como agregados graúdos. Na Tabela 1 estão dispostos os tipos de agregados e suas dimensões características.

Tabela 1- Tipos de agregados e suas dimensões características

<b>Tipos de agregados</b>	<b>Dimensões características (mm)</b>
Gabião/ Rachão	100 a 150
Brita graduada	Mistura de tamanhos de zero (0) até o máximo especificado com controle de granulometria definida pelo consumidor

---

Brita 0	4,8 a 9,5
Brita 1	9,5 a 19
Brita 2	19 a 25
Brita 3	25 a 50
Brita 4	50 a 75
Brita 5	75 a 100
Bica corrida	Mistura de tamanhos sem exigência de composição granulométrica com dimensões variando de zero (0) a 50 mm
Pó de pedra	0 a 5
Areia de brita	Menores que 4,8

---

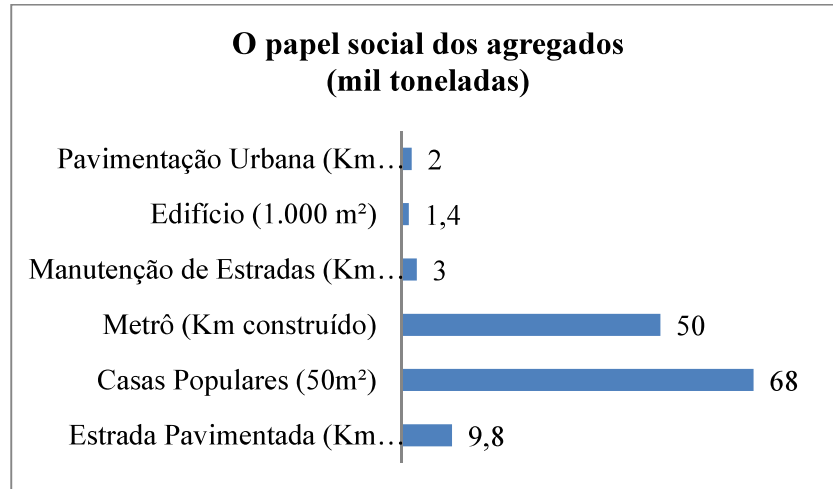
Fonte: Quaresma (2009), adaptado

Desta forma, define areia como sendo agregados miúdos resultantes de britagem de rochas estáveis ou de origem natural. E os pedregulhos (cascalhos e britas) considerados agregados graúdos. (BAUER, 2000; ABULQUERQUE, 2000).

### 2.2.3 Utilização

Os agregados são utilizados em diversos seguimentos na construção civil, como aplicações em concreto, edificações, obras civis e de infraestruturas, pavimentação dentre outros (SINTONI, 2003 apud QUARESMA 2009). Através do Gráfico 1 é possível observar o papel social dos agregados.

Gráfico 1- Papel social dos agregados



Fonte: Anepac (2015), adaptado

Os usos dos agregados estão relacionados à sua granulometria (KULAIF, 2002), como demonstra na Tabela 2.

Tabela 2-Utilidade dos tipos de agregados

<b>Principais utilizações dos agregados</b>	
Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Britas graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e

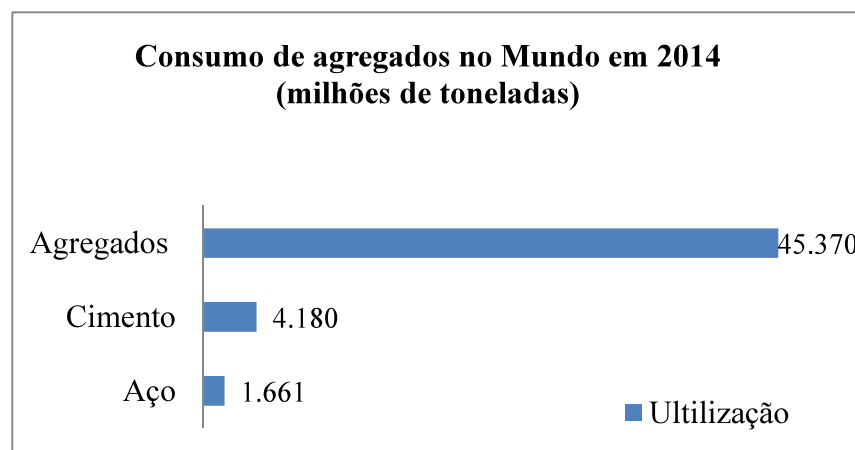


Fonte: Kulaif (2002), adaptado

#### 2.2.4 Consumo

Os agregados são os materiais mais consumidos no mundo, perdendo apenas para água. Responsável por cerca de 2/3 do total de produção mineral mundial (ANEPAC, 2015). Como pode ser observado no Gráfico 2 no ano de 2014 foram utilizados quase 50 milhões de toneladas de agregados.

Gráfico 2- Consumo de agregados no mundo em 2014



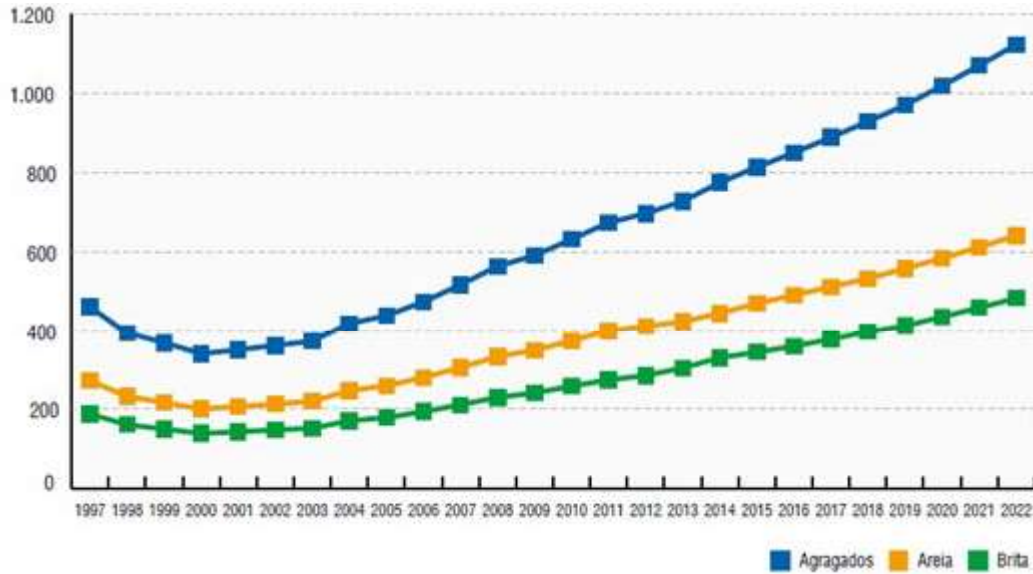
Fonte: Anepac (2015), adaptado

O crescimento população e as quantidades de bens e serviços num país é um processo que ocorre concomitantemente ao consumo de minerais para uso direto na construção civil. (LA SERNA, 2003; REZENDE, 2003).

A indústria da construção civil é um setor da economia que mais consome materiais extraídos da natureza, sendo grande geradora de resíduos (JARDOVSKI, 2005 apud ALIPIO, 2010).

No Brasil o consumo de agregados tende a crescer, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2013) em 14 anos o consumo de agregado cresceu 46,2% , partindo de 460 milhões de toneladas em 1997 para 673 milhões de toneladas em 2011. O Gráfico 3 representa uma evolução das curvas de agregados, areia e brita para o período de 1997 a 2022.

Gráfico 3-Evolução das curvas de agregados no período de 1997 a 2022

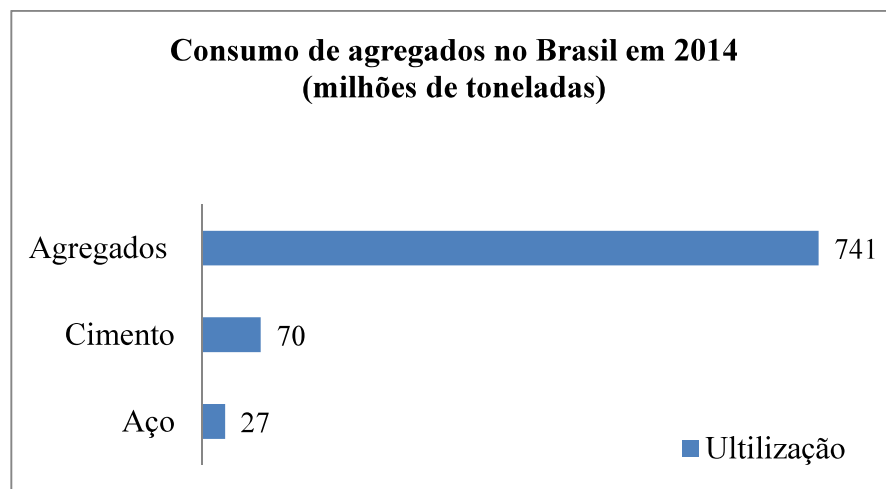


Fonte: Anepac (2012) apud Anepac (2015), adaptado

De acordo com John (2000, apud BABILON, 2008) estima-se que a construção civil consuma de 20 a 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade.

John (2000 apud KARPINSKI et al., 2009) estima que o setor da construção civil brasileiro consumam em torno de 210 milhões de toneladas de agregados naturais por ano para a produção de argamassas e concretos. Como mostra o Gráfico 4 em 2014 o consumo brasileiro de agregados atingiu 741 milhões de toneladas, correspondente a 3,7 toneladas per capita.

Gráfico 4- Consumo de agregados no Brasil em 2014



Fonte: Anepac (2015), adaptado

### 2.3 Resíduos de Construção e Demolição

De acordo Leite (2001), a quantidade de energia e recursos naturais consumidos e os volumes de resíduos gerados são significativos.

Com a industrialização, as novas tecnologias, o crescimento populacional nas áreas urbanas e a diversidade no consumo de bens e serviços, os resíduos são considerados um grave problema urbano (HOOD, 2006).

A construção civil é um dos grandes vilões quando se fala em impactos ambientais, sendo considerado como o principal gerador de resíduos de toda a sociedade (SENAI, et al., n.d.).

Karpinski et al., (2009) afirma que uma edificação independente do seu uso, seja pequena, média ou de grande porte, interferem no meio ambiente independente da etapa em que se encontram, sempre irá gerar impactos no meio ambiente.

Para Gonçalves, E (2015) a indústria da construção civil descarta todos os meses milhares de metros cúbicos de resíduos, diante disso surge a necessidade de reciclar os materiais visando dar um novo fim a eles.

Para Oikomomou (2005 apud LOVATO, 2007) as principais causas para o aumento de volume de resíduos provenientes de construção e demolição são:

- Muitas edificações antigas e outras estruturas chegam ao seu limite de vida útil e necessitam serem demolidas;
- Há estruturas que mesmo adequadas ao uso, são demolidas, pois há novas necessidades;
- Há resíduos de edificações que são resultados de fenômenos da natureza, como terremotos e tempestades;

Em seus estudos Pinto (1999 apud SILVA, 2004) observou que a cada metro quadrado construído gera 150 Kg de resíduos. O valor foi denominado de “taxa de geração de resíduos de construção”, onde a Tabela 3 apresentam os resultados obtidos. Os valores encontrados referem-se a construções, demolições e reformas.

Tabela 3- Taxa de geração de resíduos de construção

Informações	Municípios					
	Santo André	São Jose R. Preto	São Jose Campos	Ribeirão Preto	Jundiaí (93/96)	Vitória da Conquista

	(93/96)	(93/96)	(93/95)	(93/95)		(95/97)
Provável área formal construída (1.000 m <sup>2</sup> /ano)	992.88	507.16	418.56	1.199.78	756.84	118.00
Taxa de geração de resíduos (Kg/m <sup>2</sup> )	150	150	150	150	150	150
Provável geração de resíduos em edificações formais (t/ano)	149	76,075	62,784	176,697	113,525	17,67
Provável geração de resíduos em edificações formais (t/dia)	477	244	201	577	364	57

Fonte: Pinto (1999) apud Silva (2004), adaptado

Segundo FERREIRA (2015), o volume de entulho de construção e demolição gerado, chega a duas vezes o volume de lixo sólido urbano, sendo a construção civil responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos.

Banthia e Chan (2000 apud LOVATO, 2007) citaram que em média são produzidos anualmente nos países de 40 a 50 milhões de toneladas de resíduos oriundo de concreto.

Conforme Eguchi et al., (2007 apud LOVATO, 2007) a indústria da construção é responsável anualmente por cerca de 75 milhões de toneladas de resíduos produzidos.

De acordo com Pinto (1992 apud KARPINSKI et al., 2009), a quantidade de resíduos que são produzidas pela construção civil tem sido frequentemente comentada, pois vem causando sérios problemas urbanos, sociais e econômicos há tempos. Uma vez que, quanto maior for a quantidade de resíduos produzidos, mais complicados é o seu gerenciamento (KARPINSKI et al., 2009).

De acordo com SANTANA et al (2011), estima-se que, no Brasil, 50% do RCD são oriundos das construções, seja ela informal, seja de canteiros de obras ou seja provenientes de perdas e desperdícios.

### 2.3.1 Definição

Para Batista (2009) os resíduos de construção e demolição são conhecidos também como entulhos. Ferreira (1999 apud BATISTA, 2009) conceitua entulho como sendo um conjunto de fragmentos ou restos de concreto, argamassa, tijolos, madeiras, dentre outros, provenientes de obras de construção civil.

É observada uma diferença entre a nomenclatura adotada nas pesquisas nacionais e internacionais e a encontrada nas recomendações normativas no Brasil. Onde as primeiras utilizam a terminologia “Resíduos de Construção e Demolição (RCD)”, e as normas trazem o termo “Resíduos da Construção Civil (RCC)”.

Para Brito Filho (1999 apud CORDEIRO, 2013), considera que os resíduos gerados pela construção civil são jazidas de matérias primas, susceptível a serem explorados.

Segundo Vieira (2003 apud HOOD, 2006) é caracterizado como todos os materiais provenientes de atividades de obras civis, como demolição, restos ou reformas de obras.

Para John (2000 apud TAVEIRA, 2010) os resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) são os originados de perda e desperdício das atividades de construção, demolição e manutenção de obras.

Zordan (2000 apud HOOD, 2006) dispõem que o RCD é apresentando na forma sólida, com características físicas variáveis em função do seu processo gerador, podendo ser encontrados com dimensões e geometrias já conhecidas ou em formatos e dimensões irregulares. A areia e brita são exemplos das dimensões conhecidas, e pedaços de madeira, argamassa, concreto, metais, plásticos, dentre outros como formatos irregulares.

Tchobanoglous (1997 apud BATISTA, 2009) classifica os resíduos de demolição como edificações derrubadas, e os resíduos de construção são os oriundos de construções novas, reformas, edifícios comerciais, dentre outros. Portanto o RCD tem sua constituição variável em função da fonte geradora.

### 2.3.2 Composição

Para Lovato (2007) a “A variabilidade dos resíduos da construção civil ocorre principalmente em função da sua origem e do período de coleta”.

A variabilidade do RCD esta ligado com as propriedades dos materiais que eles são produzidos. Esses fatores são desconhecidos gerando dilema do que se deve e como controlar. Não possuem ensaios normatizados sobre o assunto, apenas pesquisadores que propõem

diversas questões. Desta maneira, cada pesquisador utiliza de metodologias que melhor se ajustam aos seus resíduos e suas realidades(CORDEIRO, 2013).

Segundo Fernandes (2015) o RCD não apresenta um padrão na sua composição e homogeneidade, pois em cada região e obra esse material pode variar.

Os resíduos de construção civil são compostos por diversos materiais, com suas respectivas propriedades que os caracterizam, portanto não é possível generalizar um material, podendo apenas classificá-lo e destiná-lo corretamente (KARPINSKI et al., 2009).

Cunha (2015) afirma que a composição e quantidade de resíduos produzidos estão relacionadas com o grau de desenvolvimento da construção civil em cada município ou estado, técnicas construtivas, mão de obra qualificada e fase da obra. Sendo assim, o impacto ambiental está vinculado com o desenvolvimento desse setor.

Através de uma pesquisa realizada por Rodrigues (2011 apud PANKA e MACHOSKI, 2011) foi possível verificar uma grande variabilidade de materiais presentes nos resíduos gerados pela construção civil no Brasil em algumas cidades brasileiras (Tabela 4).

Tabela 4- Variabilidade de materiais presentes no RCD

<b>Material</b>	<b>Ribeirão Preto- SP</b>	<b>Porto Alegre - RS</b>	<b>Maceió- AL</b>	<b>Recife - PE</b>	<b>Uberlândia- MG</b>	<b>Ituiutaba - MG</b>	<b>Passo Fundo - RS</b>	<b>Taiwan - China</b>
Argamassa	36%	28%	28%	24%	22%	54%	23%	-
Cerâmica polida	3%	-	3%	-	24%	-	8%	-
Cerâmica	21%	26%	48%	19%	-	41%	53%	28%
Concreto	21%	15%	19%	14%	38%	-	5%	71%
Pedras	18%	31%	-	9%	-	5%	-	-
Areia	-	-	-	4%	13%	-	8%	-
Solo	-	-	-	23%	-	-	-	-
Gesso	-	-	-	4%	-	-	-	-
Madeira	-	-	-	2%	-	-	-	-
Metal	-	-	-	1%	-	-	-	-
Fibrocimento	-	-	-	-	1%	-	1%	-
Outros	1%	-	2%	-	2%	0%	-	0%

Fonte: Rodrigues (2011) apud Panka e machoski (2011), adaptado

A composição dos resíduos de construção e demolição são bastante heterogêneos como se pode observar na tabela acima, aparecendo diversos materiais em diversas proporções que são usadas na construção civil (TENÓRIO,2007).

De acordo Karpinski et al., (2009), a composição dos RCD possui sempre um produto que se sobressai, sendo diferente em cada país em função da diversificação de tecnologias construtivas empregadas.

A tabela 5 apresenta um comparativo entre as composições dos resíduos de construção e demolição verificados por alguns estudiosos. É possível observar que os RCD apresentam uma composição variável, que interfere no comportamento dos concretos produzidos com esses agregados reciclados.

Tabela 5- Comparativo da composição dos resíduos de construção e demolição

Componente	Porcentagem (%)			
	Pinto (1987)	Zordan (1997)	Leite (2001)	Vieira (2003)
Argamassa	63,67	37,4	28,26	27,82
Concreto	4,73	21,1	15,18	18,65
Cerâmica	29,09	20,8	26,33	48,15
Outros	2,2	20,7	30,23	5,38

Fonte: LOVATO (2007), adaptado

Para Santos (2017), o desconhecimento das características dos materiais reciclados dos RCD ainda é grande por parte dos profissionais da construção civil.

Segundo Yanagi (1988 apud BATISTA, 2009), conhecendo as propriedades de certos resíduos os mesmo podem ser aplicados na construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima. Todavia, deve levar em consideração os possíveis riscos de contaminação ambiental que o seu uso poderá ocasionar durante a vida do material ou após sua destinação final (BATISTA, 2009).

A origem do RCD e a porcentagem de materiais que o constitui interfere na característica do agregado, onde poderá ser indicado ou restrito para algumas aplicações, pois a sua resistência está limitada ao material de origem do RCD (TENÓRIO, 2007).

Os agregados reciclados em geral, possuem propriedades e comportamentos variados, podendo ser oriundos de concretos, argamassas, cerâmicas e possuem diversas granulométricas (KRÜGER et al., 2017).

Um dos cuidados que se deve tomar no uso de agregados reciclados está relacionado à possibilidade de existência de contaminantes, pois esses materiais podem gerar efeitos negativos nas características do concreto e na sua durabilidade.

Lovato (2007) define as “impurezas ou contaminantes como todos os materiais não inertes, ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas produzidos com agregados que os contenham”.

Segundo Leite (2001 apud QUEBAU, 1996) destaca-se que as impurezas normalmente estão presentes em maiores quantidades na parte mais fina do material reciclado, sendo o ideal descartar esse material.

Hansen (1992 apud ZANGESKI, et al., 2017) considera que materiais como solos argilosos, plásticos, resíduos de pavimentação betuminosos, vidros, metais, gesso e refratários, são considerados impurezas quando incorporados aos agregados reciclados para produzir novos materiais.

Para Paula (2003 apud CIOCCHI, 2003) deve-se ter atenção com relação a gesso, metal, madeira, cimento e amianto no entulho, de forma a preservar a qualidade do material reciclado.

### 2.3.3 Leis e Normas Regulamentadoras

O impacto ambiental gerado pela construção civil nos dias atuais esta sendo de grande preocupação para os órgãos ambientais, pesquisadores de diversas áreas de conhecimento e até mesmos para a construção civil (MODLER e POZZOBON, 2008).

De acordo com Batista (2009) o Brasil é ainda um dos poucos países que possuem normas específicas para a utilização dos agregados reciclados.

No que diz respeito aos Resíduos da Construção e Demolição – RCD encontrados no processo de fabricação e execução de obras da construção civil, as leis encontradas que regulamentam sobre a disposição final acabam sendo de certa forma muito exigentes sobre o padrão de qualidade satisfatório (GOLÇALVES,R., 2001).

Com a crescente geração de resíduos sólidos, alguns órgãos que regulamentam a ocorrência de impactos no meio ambiente, desenvolveram parâmetros com o intuito do bem comum. Como exemplo, pode citar a Resolução Conama nº 307 em 5 de julho de 2002 que foi instituída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

No ano de 2002, o poder público demonstrou atenção frente aos resíduos sólidos de construção civil e suas possíveis utilizações, onde foi criada a Resolução Nº 307 do CONAMA.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 307/2002 disposto no Artigo 2º, inciso I, define-se os resíduos da construção:



São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A classificação dos resíduos decorrentes da construção, reforma e demolição civil está disposta na Tabela 6 de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Tabela 6- Classificação dos resíduos sólidos

<b>Classificação</b>	<b>Tipologia</b>
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformar e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos(tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto(blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;(Resolução N° 307/2002)
Classe B	São resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Resolução N° 469/2015)
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou reparação; (Resolução N° 431/2011)
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e matérias que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde; (Resolução N° 348/2004)

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA (307/2002), (348/2004), (431/2011), (469/2015), adaptado

A Resolução criou responsabilidades para todos da cadeia envolvida, como geradores, transportadores, receptores com ciclos de procedimentos e atividades controladas.

De acordo com o Art. 9º da Resolução Nº307/2002 os planos de gerenciamento de resíduos da construção civil são seguidos às etapas dispostas na Tabela 7.

Tabela 7- Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil

<b>Planos de gerenciamento de resíduos da construção civil</b>	
<b>Etapas</b>	<b>Considerações</b>
Caracterização	Nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
Triagem	Deverá ser realizada, referencialmente pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta resolução;
Acondicionamento	O gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que sejam possíveis, as condições de reutilização e de reciclagem;
Transporte	Deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
Destinação	Deverá ser prevista de acordo com o estabelecimento nesta Resolução.

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA 307 (2002), adaptado

A destinação desses resíduos após a triagem é dada em função de sua classe (Tabela 8), sendo disposto no Art. 10º da Resolução Nº307/2002.

Tabela 8-Destinação dos resíduos após triagem em função da classe

<b>Classificação</b>	<b>Destinação</b>
Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para uso futuros;

Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA 307 (2002), adaptado

Conforme a Resolução, todo município é obrigado a fazer um Programa Municipal de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.

O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil - PGIRCC de acordo com a Resolução Conama nº307/2002 deve ser elaborado pelos municípios e pelo Distrito Federal.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é um documento que deve ser elaborado pelos geradores dos RCC, necessitando ser apresentado aos órgãos competentes acompanhado com o projeto da obra (FERREIRA, 2015).

Buscando a iniciativa da reciclagem no Estado de Minas Gerais, o legislativo aprovou, em 19 de dezembro de 2001, a Lei Nº 14.128, que dispõem sobre a política estadual de reciclagem de materiais, com o intuito de incentivar o uso, a industrialização e a comercialização de materiais recicláveis, dentro os quais está relacionado com os entulhos gerados pela construção civil (MINAS GERAIS, 2001).

Em 2010, entrou em vigor a Política de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecendo que os agentes públicos e privados são responsáveis pela destinação e reaproveitamento dos resíduos urbanos por eles gerados (CORDEIRO, 2013).

Com as exigências de tratamento dos resíduos sólidos oriundos na construção civil, através de resoluções e leis, espera-se que os produtos gerados sejam capazes de movimentar a economia, propiciando empregos bem como o aumento de renda das empresas que realizam esses serviços (ANDRADE, 2013).

Por isso, o entendimento das legislações é de extrema importância para o seu cumprimento. Uma das maiores dificuldades observada é nas áreas de transbordo e triagem

dos resíduos, devido ao fato das caçambas, na maioria das vezes, não serem recebidas de forma segregada (ANDRADAS, 2013).

#### 2.3.4 Disposição

De acordo com Mentha, Monteiro (1994, apud FERREIRA, 2015, p.4):

“Uma vez que são as pessoas que determinam como os materiais são usados na sociedade, cada projetista, ao fazer a escolha dos materiais de construção, é também responsável pelas consequências ecológicas e sociais dessa escolha”.

Com o crescimento acelerado das cidades trouxe consigo inúmeros problemas, onde a destinação dos grandes volumes dos resíduos gerados pelo homem é considerada um dos maiores dele. O volume de resíduos oriundos da construção e demolição gera grandes impactos ambientais, uma vez que são dispostos em um ambiente de maneira inadequada.

Uma questão importante para Karpinski et al., (2009), refere-se aos locais que serão depositados os resíduos sólidos de construção e demolição, pois principalmente em grandes centros urbanos o volume gerado é considerável.

A destinação final dos resíduos de acordo com Ferreira et al., (2012) é um grande desafio a ser superado, pois o déficit apresentado até a citada data no país era de aproximadamente 42% de inadequação .

“A destinação incorreta dos resíduos sólidos de construção e demolição geram inúmeros problemas de contaminação, degradação e custos adicionais” (KARPINSKI et al., 2009).

A remoção de entulhos que são dispostos irregularmente nas áreas de “bota-fora” das cidades, os transtornos sociais causados pelas enchentes e os danos ambientais ,representam elevado custo para o poder publico. Fazendo-se necessário estabelecer novos métodos para a gestão dos resíduos da construção civil e demolição (PINTO, 1999).

Correa et al., (2009 apud SANTOS,2017) afirmam que a disposição irregular dos RCD (Resíduos da construção e demolição) é considerada uma pratica frequente em países em desenvolvimento, que depositam em valas a céu aberto, terrenos baldios, vales, vias públicas ou aterros sem tratamento adequado.

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição – ABRECON (2015) mais da metade das 5,5 mil cidades brasileiras destina o RCD aos lixões ou locais impróprios.

No entanto, apesar dessa prática ainda ser muito presente nos centros urbanos, pode-se dizer que felizmente nos últimos anos vem se encurtando, resultado de avanços político e leis para gerenciar esses resíduos (FERREIRA, 2015). Onde já existem empreendimentos especializados que abastecem e transportam esses resíduos produzidos em uma determinada obra por meio de caçambas até uma disposição final (BATISTA, 2009).

### 2.3.5 Processamento

O aumento na geração de resíduos está diretamente relacionado ao crescimento populacional, e também com o crescimento econômico, que traz consigo um consumo maior pela população e conseqüentemente um aumento significativo na geração de resíduos.

A sociedade ainda não possui um manejo diferenciado dos diversos tipos e classes de resíduos, onde o sistema de coleta e destinação recebe grande variedade de materiais que são descartados e misturados tornando difícil seu gerenciamento.

Para Andradadas (2013) “os resíduos sólidos da construção civil são obrigatoriamente passíveis de segregação, classificação, reutilização e destinação adequada”.

Chen (2002 apud PUCCI, 2006 apud BABILON, 2008), sugere a separação dos resíduos sólidos em duas classes: inertes e não inertes.

A NBR 10.004 classifica os resíduos de construção e demolição como materiais inertes, entretanto, vale salientar que a composição química e riscos de contaminação estão relacionados com os materiais de onde se originou, podendo haver mudanças na classificação desses resíduos.

Segundo Lima e Lima (2009 apud SILVA, et al., 2015) a fase de caracterização dos resíduos é de grande importância no sentido de identificar e quantificar os resíduos, possibilitando o planejamento adequado, visando à redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

O grande segredo, segundo Fernandes (2015), para utilizar o RCD está no processo de triagem, no qual é a separação dos resíduos, sendo não apenas essencial para separar o resíduo, mas quanto à quantificação e classificação, pois esse resíduo só pode ser depositado em aterro após esse processo.

A segregação, de acordo com SILVA et al., (2015), é indispensável pois facilita as etapas seguintes, sendo esse trabalho realizado diretamente na fonte de geração, possibilitando grande ganho de tempo no envio de resíduos aos tratamentos e destinação final dos rejeitos.

De acordo com o IBAM (2015 apud SILVA, et al., 2015) os dispositivos para o acondicionamento devem ser compatíveis com os tipos e quantidades de resíduos, visando à prevenção de acidentes, dentre outros. Para a organização do local, podem ser utilizados big bags, lixeiras comuns, baias, caçambas e outros, devendo ser etiquetados com indicações dos tipos de resíduos que devem ser depositados em cada local.

A etapa de transporte, segundo Massukado (2004 apud SILVA, et al., 2015) é constituída da remoção dos resíduos de seus locais de origem para estações de transferências, tratamentos ou diretamente para seu destino final por diversos meios de transportes.

Os tratamentos dos resíduos são considerados ações corretivas, os quais possibilitam a valorização dos resíduos e sua inserção novamente na cadeia produtiva, permitindo a redução da utilização dos recursos naturais, minimizando a poluição.

Conforme o IBAM (2001 apud SILVA, et al., 2015) a etapa do tratamento busca ações para reduzir a quantidade ou potencial poluidor, seja com o impedimento do descarte em locais impróprios, seja pela transformação em materiais inertes ou biologicamente estável.

A disposição final de RCD deve ocorrer em áreas adequadas para que seja possível o emprego de técnicas de destinação dos resíduos no solo, visando à utilização futura do material ou da área (SOUZA, I., 2017).

### 2.3.6 Reutilização

Os RCD possuem um grande potencial de reutilização, chegando a quase 100%, além de possuírem características físicas que possibilitam o seu emprego diretamente, ou com algumas intervenções, como é o caso da moagem, mas sem a necessidade de processos com custos e tecnologias elevadas (BATISTA, 2009).

Andradas (2013) acredita que a reutilização dos resíduos sólidos na construção civil não apenas reduz a quantidade de material depositado em locais inadequados, mas também ameniza uma quantidade significativa de extração de matéria-prima no meio ambiente.

Para tornar possível a reutilização de resíduos provenientes de construção e demolição faz-se necessário alcançar três concepções básicas (DOSHO, 2007 apud MOREIRA e FIGUEIREDO, 2010):

- Garantia de segurança e qualidade do produto;
- Diminuição de impacto ambiental;
- Diminuição do custo da construção;

## **2.4 Processo de produção Agregado**

### **2.4.1 Agregado Reciclado**

O agregado reciclado é um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção, que possuem características técnicas para serem ampliadas em obras de engenharia. (CONAMA; RESOLUÇÃO 307/ 2002, Art.2 inciso IV).

Para a produção de agregados reciclados são necessários procedimentos sistemáticos para serem utilizados na construção civil. Algumas características químicas e físicas são comuns aos diferentes tipos de agregados reciclados que são utilizados em concretos e argamassas, onde é possível a fixação de valores e limites para cada uma delas, concedendo qualidade em suas aplicações (LIMA, 1999 apud SILVA, et al., 2014).

Os agregados reciclados são produzidos semelhantemente com a produção dos agregados naturais, pelos equipamentos utilizados e etapas seguidas. Para se produzir agregados reciclados os resíduos devem ser separados, britados, peneirados e concentrados em espaços próprios (PANKA e MACHOSKI, 2011).

Os resíduos sólidos quando são depositados nas usinas de reciclagem, separados em função das classes que englobam esses materiais (recicláveis ou não, natureza, propriedade etc.), sendo geralmente realizado por análise visual (TENÓRIO, 2007).

A catação para Tenório (2007) consiste em uma operação geralmente manual com o objetivo de remover os contaminantes do RCD, como os materiais não minerais que são inúteis a reciclagem como agregado.

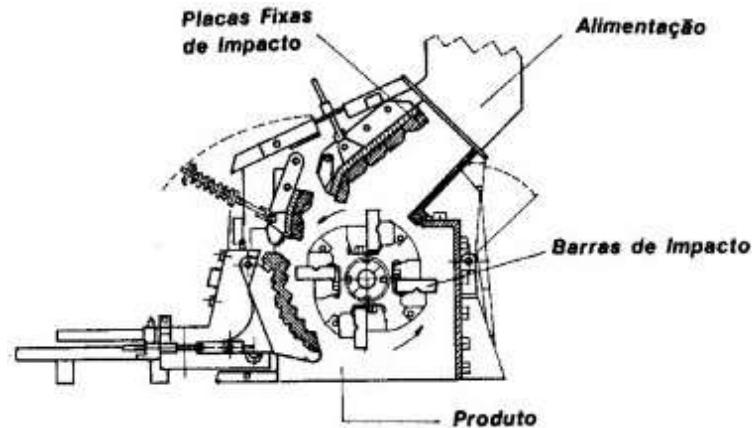
A separação magnética visa à remoção dos contaminantes de natureza metálica que podem ser encontrados no material que será britado, que pode ser realizado antes ou após a fragmentação (TENÓRIO, 2007).

Existe uma grande diversidade de equipamentos utilizados para o beneficiamento de RCDs, onde para a escolha do equipamento deve levar em questão a capacidade de produção do mesmo, a quantidade de material que poderá ser beneficiado e o tipo de material a ser obtido. A escolha do equipamento está inteiramente ligada nas propriedades dos agregados que serão obtidos.

O peneiramento para Tenório (2007) é um processo de separação de tamanho, mais usado nas usinas recicladoras, sendo o método mais utilizado com o material seco, o qual visa separar os agregados em frações graúdas e miúdas e posteriormente em subfrações.

Os equipamentos usados para reciclagem de entulho se assemelham com os de britagem de rocha, a diferença básica está no tipo de britador, que na maioria das vezes o preferível é do tipo de impacto (Figura 1).

Figura 1-Modelo de britador de impacto



Fonte: Metalica

O britador de impacto processa peças de concreto armado, possui grãos cúbicos de ótimas características mecânicas, sendo a distribuição granulométrica com grande utilidade para obras de pavimentação.

No britador de mandíbula o material é esmagado em partículas, podendo ser novamente britado caso haja necessidade de partículas menores. Já o britador de impacto ele brita o material por meios de choques entre seus martelos maciços ou por placas fixas que geram partículas menores.

Buttler (2003 apud HOOD, 2006) verificou que os agregados reciclados originários de um britador de mandíbulas possuem uma melhor distribuição granulométrica para serem ordenados em concretos. E os britadores de impacto proporcionam uma distribuição que favorece o emprego em sub-bases e bases de rodovias.

## 2.5 Vantagens na utilização de Agregados Reciclados

A reciclagem dos resíduos provenientes de RCD é uma alternativa para construções mais econômicas e essencialmente sustentável, buscando diminuir os impactos que são causados pelas atividades humanas (ASSIS, 2015).



Os materiais reciclados provenientes de entulhos de demolição, dependendo do processamento que foram submetidos podem gerar agregados de qualidade compatível aos agregados naturais (LA SERNA, 2003; REZENDE, 2003).

A produção dos agregados reciclados para Batista (2009) podem gerar economias de até mais de 80% comparados com o preço dos agregados convencionais. Sendo possível a fabricação de componentes com economia de até 70% comparada com os similares produzidos de matéria prima não reciclada.

Dados da SLU (1993 apud BATISTA, 2009) demonstraram que 100 viagens de caminhões caçamba carregando cerca de 5m<sup>3</sup> de entulho cada, geram aproximadamente 400 m<sup>3</sup> de resíduos reciclados. Há possibilidade de construir 55 casas populares de 60m<sup>2</sup> com blocos produzidos desses resíduos ou ainda agregados para executar sub- base de 1.000 m<sup>2</sup> de ruas com caixa de 40 centímetros.

Outro exemplo seria na construção do Edifício Torre Almirante (Figura 2) entre o ano de 2003 e 2004 no Rio de Janeiro, que produziram aproximadamente cerca de 4.000 m<sup>3</sup> de entulho que foram convertidos em 500.000 blocos, telhas de concreto, além de outros produtos necessários para construção de 600 casas populares.

Figura 2-Edifício Torre Almirante



Fonte: Arcoweb (2005)

## 2.6 A utilização do Agregado Reciclado

De acordo com Cordeiro (2013), a variabilidade do uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) estão sendo comprovados em estudos nacionais e internacionais.

A utilização dos agregados reciclados ainda é relativamente pequena, porém observa-se que já estão sendo usados em diversas aplicações como: estabilização de solos, melhoria do sub-terreno, pavimentos rodoviários, produção de concreto e várias outras categorias (OIKONOMOU, 2005 apud ZANGESKI, et al., 2000).

Os produtos dos RCD podem ser utilizados nas atividades da construção civil, como é demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9- Produtos do RCC- características e aplicações

<b>Produto</b>	<b>Característica</b>	<b>Uso recomendado</b>
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo- cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita Reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagem.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub - base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: Urbem Tecnologia Ambiental apud Abrecon (2017) apud Santos (2017), adaptado

Carneiro et al (2001 apud TAVEIRA, 2010), realizou diversos ensaios com agregado graúdo reciclado e verificou um potencial de uso na produção de camadas de pavimentos e em concreto não estrutural, mostrando-se também aplicável em argamassas, tijolos e blocos.

Para Pinto (2000 apud KARPINSKI et al., 2009), os agregados miúdos e graúdos reciclados podem ainda serem utilizados no chumbamento de batentes; contramarcos; esquadrias; instalações elétricas; hidráulicas e telefonia.

## **2.7 Caracterização do Agregado Graúdo Reciclado**

A busca do conhecimento das propriedades físicas e químicas presentes dos agregados reciclados é de extrema importância, pois influenciam diretamente no comportamento do concreto que o utiliza. As diferenças entre as propriedades dos agregados convencionais e reciclados apresentam alguns obstáculos referente à sua utilização e a confiabilidade dos mesmos.

Para Lovato (2007) é de fundamental importância estudar as características dos agregados uma vez que podem apresentar propriedades indesejáveis o qual interferem nas características de resistência, durabilidade e desempenho do concreto.

De acordo com Santana et al., (2011) é importante estudar os agregados isoladamente pois ele corresponde aproximadamente cerca de 75% do volume de concreto, sendo assim sua qualidade é considerada de importância.

Os agregados devem ser avaliados quanto a aspectos físicos (distribuição granulométrica, formato dos grãos, material pulverulento) e os aspectos químicos (reatividade potencial, análise petrografia) (KRÜGER et al., 2017).

Considerando que os agregados provenientes de RCD possui uma alta heterogeneidade, devido sua origem, ao período e local de coleta, ao equipamento usado em seu beneficiamento, dentre outros se torna necessário encontrar parâmetros para o controle de sua viabilidade (LOVATO, 2007).

Para Angulo (2005), a caracterização dos agregados reciclados pode ser dada por alguns métodos como a análise granulométrica, química, mineralógica termogravimétrica, separação por densidade, determinação de massa específica aparente e absorção de água nesses agregados. Porém dentre essas propriedades, as que apresentam influência na resistência do concreto são a massa específica e a absorção de água.

O processo de britagem dos resíduos de construção e demolição (RDC) possui influencia na granulometria, a quantidade e argamassa aderida, os contaminantes e impurezas que podem estar presentes nos agregados reciclados.

Para Zaharieva et al., (2002 apud HOOD, 2006) os agregados reciclados não podem ser caracterizados como não inertes, já que estão sujeitos a possuir altos teores de impurezas o quais podem afetar a durabilidade de concretos produzidos com esses agregados.

Os agregados reciclados quando comparados com os convencionais apresentam uma maior quantidade de impurezas e contaminantes, muitas vezes relacionada aos tipos de resíduos oriundos. Cordeiro (2013) afirma que a presença dessas impurezas nos agregados diminui a resistência mecânica dos concretos que os utilizam.

Lye et al., (2016 apud KRÜGER et al., 2017) desenvolveram uma pesquisa levando em consideração 286 publicações de onde provaram que os agregados reciclados possuem uma massa específica menor e uma absorção maior quando comparados com os agregados convencionais.

Modler e Pozzobon (2008) realizaram um estudo das características do agregado graúdo convencional e reciclado, com dimensão máxima características de 19 mm, onde os resultados da caracterização se encontram na Tabela 10.

Tabela 10- Caracterização dos agregados graúdos

<b>Material</b>	<b>ø Max(mm)</b>	<b>Massa específica absoluta (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária solta (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Módulo de finura</b>
Brita Reciclada	19,00	2,48	1,41	5,00	6,70
Brita Natural		2,94	1,61	1,30	6,51

Fonte: Modler e Pozzobon (2008), adaptado

Jacques (2013) realizou o estudo do agregado graúdo reciclado onde os resultados estão dispostos na Tabela 11, podendo ser observado que os valores obtidos estão bem próximos dos encontrados por Modler e Pozzobon (2008).

Tabela 11- Características físicas do agregado graúdo reciclado

<b>Propriedade</b>	<b>Resultado</b>
Massa específica	2,44 g/ cm <sup>3</sup>
Massa unitária solta	1,475 Kg/dm <sup>3</sup>
Absorção	4,30%
D máx característico	19 mm
Módulo de finura	6,87

Fonte: Jacques (2013), adaptado

### 2.7.1 Granulometria

A composição granulométrica é uma característica importante do agregado, pois influencia na trabalhabilidade, resistência mecânica, absorção de água, modulo de elasticidade e no consumo de aglomerantes (CORDEIRO, 2013).

A granulométrica do agregado está diretamente ligada com o processo de britagem adotado, onde a porcentagem de agregados graúdos produzidos por diferentes britadores oscilam de 60% a 90% (CORDEIRO, 2013).

Segundo Levy (2001 apud LOVATO, 2007) ainda não existe um consenso no meio técnico sobre uma granulometria adequada dos agregados naturais e reciclados, para utilizar no concreto, sendo apenas um critério orientativo na trabalhabilidade do mesmo.

A granulometria dos agregados reciclados podem variar em função de vários fatores, como o processo produtivo, as características granulométricas do resíduo antes da britagem e a origem do material (PANKA e MACHOSKI, 2011). Logo a curva granulométrica é uma característica especificada de cada resíduo reciclado.

Nos estudos de Gonçalves, R. (2001), a granulometria dos agregados reciclados foi bastante variável em comparação com os agregados naturais, onde ele percebeu que durante o peneiramento a argamassa que estava aderida ao agregado natural soltou-se gerando uma grande quantidade de materiais com varias dimensões.

Em uma comparação granulométrica dos agregados graúdos naturais e reciclados foi constatado por Rashwan e Abourizk (1997 apud LOVATO, 2007) que o agregado reciclado é mais fino que o agregado convencional.

Nos ensaios realizados por Tenório (2007) foi comprovado também que o módulo de finura dos agregados reciclados é inferior aos agregados naturais.

Cordeiro (2013) cita em seus estudos que a determinação da curva granulométrica é um afazer simples, entretanto decidir se a granulometria do agregado pode ou não ser plausível é uma tarefa mais complexa.

O uso da curva granulométrica para caracterizar os agregados reciclados, não deve ser usado como um critério absoluto de seleção, mas podem ser entendidos como um critério instrutivo para prognosticar a trabalhabilidade do concreto a ser produzido com esses agregados.

Para Leite (2001), a curva granulométrica do agregado graúdo e miúdo reciclado evidencia, de forma contínua um aspecto positivo pelo fato de um melhor arranjo entre as partículas.

Quando há uma distribuição granulométrica contínua é indicado que os agregados estão uniformemente distribuídos, o qual possibilita uma interação das partículas (CORDEIRO, 2013).

De acordo com Cordeiro (2013) as frações graúdas geralmente apresentam curva granulométrica adequada, e se enquadram na maioria das vezes nas recomendações estabelecidas pelas normas nacionais.

Quanto maior dimensão máxima característica (DMC) do agregado menor é área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta cimento para uma reação água/cimento (CORDEIRO, 2013).

A determinação da curva granulométrica é obtida através do ensaio normatizado pela NBR 7211 (ABNT, 2009), que estabelece os limites que os agregados devem estar enquadrados.

### 2.7.2 Absorção de água

A determinação da taxa de absorção do agregado é imprescindível, pois através dela é possível determinar o percentual de água que deverá ser suprido no agregado reciclado antes de ser utilizado no concreto, para não ocorrer problemas no abatimento e trabalhabilidade do mesmo, pois afeta diretamente na relação água/cimento (MOLIN et al., 2004). O mesmo autor ressalta que esse procedimento deve ser realizado com cautela para não ocorrer um excesso de água na mistura.

A absorção está relacionada à estrutura de poros dos agregados, sendo a proporção da quantidade de água possível de ser retirada nestes poros em função da massa desse agregado (CORDEIRO, 2013).

Tenório (2007) afirma que com a variação da porosidade do agregado reciclado consequentemente a absorção de água também será variante, pois as duas propriedades são diretamente proporcionais.

Como os agregados reciclados são compostos de materiais porosos eles apresentam grandes taxas de absorção de água.

A absorção de um agregado pode ser definida em quatro estágios, como mostra a Figura 3.

Figura 3-Representação esquemática das condições de umidade do agregado para concreto



Fonte: Clube do Concreto (2013)

Quando se for utilizar o agregado reciclado, deve ter cuidado ao usar condições totalmente saturadas, pois além de aumentar a trabalhabilidade do concreto pode gerar danos nas propriedades mecânicas e na sua durabilidade (CORDEIRO, 2013). Onde o ideal é que os agregados reciclados sejam trabalhados na condição intermediária de umidade, buscando minimizar ou anular os efeitos negativos da absorção.

De acordo com Etxeberria (2004 apud CORDEIRO, 2013) a absorção dos agregados reciclados está associada às dimensões das partículas, quantidade de argamassa aderida e sua massa específica.

Gonçalves, R. (2001) verificou que a absorção nos agregados reciclados é maior que os naturais, isto também devendo o fato da quantidade de argamassa existente neste material.

Em estudos realizados por Hansen e Narude (1983 apud TENÓRIO, 2007) e Poon e Chan (2006 apud TENÓRIO, 2007) observaram que a absorção de água é maior para as frações de menores granulometrias (Tabela 12 e Tabela 13) onde atribuiu essa maior absorção devido à quantidade maior de argamassa aderida que são aderidas em suas partículas.

Tabela 12- Propriedades de agregados de concreto reciclado

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Fração granulométrica (mm)</b>	<b>Massa específica</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Volume de argamassa aderida aos grãos de rocha natural (%)</b>
Reciclado (concreto de alta resistência)	4-8	2,34	8,5	58
	8-16	2,45	5,0	38
	16-32	2,49	3,8	35
Reciclado (concreto de média resistência)	4-8	2,35	8,7	64
	8-16	2,44	5,4	39
	16-32	2,48	4,0	28
Reciclado (concreto de baixa resistência)	4-8	2,34	8,7	61
	8-16	2,42	5,7	39
	16-32	2,49	3,7	25

Fonte: Hasen e Narud (1983) apud Tenório(2007), adaptado

Tabela 13- Absorção de água no agregado de alvenaria de tijolo cerâmico reciclado

<b>Propriedade</b>	<b>Tamanho do agregado</b>		
	<b>0 mm</b>	<b>0 mm</b>	<b>5 mm</b>
Absorção de água (%)	8,4	9,5	0,9

Fonte: Poon e Chan (2006) apud Tenório (2007), adaptado

Conforme a Tabela 14 é observado que os valores de absorção de água nos agregados miúdos e graúdos reciclados são diversos em relação a cada resultado dos estudiosos, isso se deve ao fato de diferentes porosidades dos materiais componentes do RCD e os métodos de ensaios utilizados.

Tabela 14- Porcentagem de absorção dos agregados encontrados por diferente estudiosos

<b>Bibliografia</b>	<b>Porcentagem de absorção</b>	
	<b>Agregado graúdo</b>	<b>Agregado miúdo</b>
Oliveira e Vazquez (1996)	7,60 a 7,70	-
Gómez- Soberón (2002)	8,16	5,83 a 6,81
Gonçalves (2001)	4,9	-



Evangelista e Brito (2007)	-	13,1
Rahal (2007)	3,47	-
Senthamarai et al (2005)	0,72	-
Xiao et al (2005)	9,25	-
Leite (2001)	4,95	8,6
Vieira (2003)	6,04	11,08

Fonte: A autora

O agregado reciclado pode absorver uma grande quantidade de água, dependendo da condição de umidade inicial do mesmo, o tempo de contato com a água, e se o mesmo entro e conto primeiro apenas com a água ou com a pasta de cimento. Para Leite (2001) a absorção da água depende da natureza do material.

Os agregados reciclados devido a sua alta porosidade pode absorver uma maior quantidade de água durante a produção de um concreto, o qual poderá prejudicar a trabalhabilidade, a redução da relação a/c e interferir na resistência mecânica do concreto (PANKA e MACHOSKI, 2011).

O processamento do agregado também interfere na taxa de absorção, pois quando o processamento do agregado graúdo reciclado é realizado em sucessivas triturações, pois é possível eliminar uma quantidade maior de argamassa aderida em suas partículas, melhorando na qualidade desse material consideravelmente em função da diminuição da absorção e do aumento da densidade (MARMASH, 2000 apud CORDEIRO, 2013).

Através da Tabela 15 apresenta um resumo bibliográfico referentes à absorção dos agregados graúdos reciclados (CORDEIRO, 2013).

Tabela 15- Levantamento bibliográfico relativo à taxa de absorção dos agregados reciclados

<b>Autor</b>	<b>Fração granulométrica (mm)</b>	<b>Taxa de absorção (%)</b>
Barra (1996)	6-10	7,50
	12-20	6,90
Soberón (2002)	5-10	6,80
	10-20	5,80
Buttler (2003)	0-20	4,74-6,00
Poon et al (2004)	0-10	7,60
	10-20	6,30

Sanchez (2004)	4-8	5,10-11,50
	8-16	4,20-8,80
Matias e Brito (2005)	2-25	4,10
Gomes (2007)	1-38	8,50
Yong e Teo (2009)	10-20	6,40
Rahman (2009)	10-20'	3,48
Padmiri et al (2009)	10-40	2,20-5,00
Werle (2010)	10-20	6,07
Corinadelsi (2010)	4-8	8,80
	8-16	6,80
Kim et al (2012)	4-8	4,55
	10-20	1,82
Manzi et al (2013)	16-25	7,00
Uddin et al (2013)	0-20	3,00-7,70

Fonte: Cordeiro (2013), adaptada

É possível observar pelos resultados que os agregados com maiores dimensões apresentam uma menor taxa de absorção. Outro fator que pode influenciar na taxa de absorção dos agregados reciclados é a resistência do concreto de origem. Nota-se que quanto maior for à resistência do concreto de origem, maior será a taxa de absorção do agregado reciclado oriundo desse concreto (CORDEIRO, 2013).

Muitos autores recomendam a pré- molhagem do material reciclado, para compensar a absorção de água desse material. De acordo com Oliveira e Vazquez (1996 apud LOVATO, 2007) relatam que alguns autores também aconselham a saturação pro imersão desses agregados antes a produção do concreto.

Para Leite (2001) a compensação parcial da taxa de absorção dos agregados permite que não haja excesso de água no concreto.

Para Tenório (2007) a capacidade de absorção de água nos agregados reciclados possui uma velocidade mais rápida que os agregados convencionais, o qual pode chegar a quase saturar em questões de minutos. A avaliação dessa absorção nos primeiros minutos e de extrema importância uma vez que o concreto no estado fresco pode ter uma parte considerável da água da mistura absorvida pelos agregados reciclados, o qual poderá perder consistência e trabalhabilidade.

As curvas de absorção do estudo realizado por Cordeiro (2013) alcançaram cerca de 90% da sua absorção total em menos de 10 minutos, mostrado então que as maiores taxas de absorção do agregado graúdo reciclado ocorrem nos tempos iniciais.

### 2.7.3 Massa específica e Massa Unitária

A massa específica é um parâmetro de grande importância na dosagem de concreto quando o cálculo está em massa, pois com uma massa específica menor apresentará um maior volume para o mesmo traço em massa (PANKA e MACHOSKI, 2011).

Coutinho (2000 apud CORDEIRO, 2013) afirma que a quanto maior a massa específica e unitária dos agregados, melhor é o desempenho do agregado que o compõem.

Ângulo (2000, apud SOUZA, et al., 2014) observou-se uma considerável variabilidade, quanto os agregados que apresentam alta taxa de absorção de água são os mesmo que tentem a possuir massa específica com valores menores.

A massa específica dos agregados reciclados é variável em função da porosidade do material, sendo uma relação entre si inversamente proporcional. Quanto maior for a absorção de água no agregado menor será sua massa específica (TENÓRIO, 2007).

Na maioria dos casos os agregados reciclados apresentam massa específica e unitária inferiores aos agregados convencionais, sendo resultado dos materiais porosos que compõem os resíduos de construção e demolição.

Os resultados obtidos por Cordeiro (2013) com relação à massa específica e massa unitária mostraram que o agregado reciclado é mais leve que o convencional, ocorrendo devido à porosidade dos constituintes desse agregado. O mesmo autor verificou que os concretos que utilizaram os agregados graúdos reciclados apresentaram um consumo de cimento maior que os produzidos com agregados graúdos convencionais.

Para Hansen (1992 apud LOVATO, 2007) a massa específica dos agregados reciclados é inferior devido à argamassa antiga que são aderidas nas partículas desses agregados.

A Tabela 16 apresenta um resumo de um levantamento bibliográfico realizado por Cordeiro (2013) relativo à massa específica e massa unitária de agregados reciclados em função de suas frações granulométricas.

Tabela 16- Levantamento bibliográfico relativo à massa específica e massa unitária dos agregados reciclados de concreto

<b>Autor</b>	<b>Fração granulométrica (mm)</b>	<b>Massa específica (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Unitária (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>
Hasen e Narud (1983)	4-8	2,34-2,50	-
	8-16	2,42-2,45	-
	16-32	2,48-2,49	-

Barra (1996)	6-12	2,41	-
	12-20	2,43	-
Sobéron (2002)	5-10	2,42	-
	10-20	2,41	-
Santo et al (2002)	5-19	2,46-2,48	1,37-1,39
Katz (2002)	10-20	2,55-2,59	1,43-1,46
Buttler (2003)	0-20	2,39-2,55	1,25-1,29
Sanchez (2004)	4-8	2,24-2,42	-
	8-16	2,33-2,47	-
	4-16	2,30-2,47	-
Matias e Brito (2005)	2-25	2,63-2,65	1,26
Gomes (2007)	1-38	2,52	1,30
Yong e Teo (2009)	10-20	2,30	1,32
Rahman (2009)	10-20	2,40	-
Padmini et al (2009)	10-20	2,38-2,56	1,32-1,42
Werle (2010)	10-20	2,47-2,50	1,20-1,21
Troian (2010)	10-20	2,47-2,50	1,18-1,21
Cavalheiro (2011)	0-20	2,28-2,37	1,16
Kim et al (2012)	4-8	2,43	-
	10-20	2,61	-
Belagraa e Beddar (2013)	8-25	2,34-2,40	1,12-1,24
Manzi et al (2013)	16-25	2,30	-

Fonte: Cordeiro (2013), adaptado

Os resultados conforme a tabela é muito variável, devendo a diversos fatores como o britador utilizado, a origem dos resíduos, os métodos de ensaios utilizados, dentre outros. Quando são observados o fator granulométrico é verificado que massa específica das partículas são superiores nas frações granulométricas de maiores dimensões.

Em estudos realizados por Xiao et al., (2005 apud LOVATO, 2007) dos agregados graúdos reciclados foram obtidos um valor de massa específica de 2,52 Kg/dm<sup>3</sup> e massa unitária de 1,29 Kg/dm<sup>3</sup>.

Sani et al., (2005 apud LOVATO, 2007) já caracterizam os agregados graúdos reciclados encontrando valores de massa específica de 2,35 Kg/dm<sup>3</sup>.

No trabalho realizado por Leite (2001) a autora encontrou uma massa específica de agregados graúdos reciclados de 2,51 Kg/dm<sup>3</sup> e de 1,12 Kg/dm<sup>3</sup> de massa unitária. Vieira (2003) encontrou valores aproximados de Leite, obtendo uma massa específica do agregado graúdo de 2,52 Kg/dm<sup>3</sup>.

É possível observar grande variedade nos resultados em funções das bibliografias, ocorrendo em função dos tipos de britadores utilizados, granulometria e as porosidades dos RCD.

O uso de agregados reciclados no concreto com menor massa específica resulta num maior volume de agregados, quando é usada massa igual de agregados convencionais e reciclados (CORDEIRO, 2013).

Para os agregados que possuem massa específica com valores menores que os naturais podem ser usados satisfatoriamente na elaboração de produtos de concreto, pois pelo fato de possuírem massa específica menores quando comparados aos agregados convencionais, às peças teriam um peso relativamente menores influenciando na esbeltes das peças, no qual pode significar uma considerável redução econômica do empreendimento (CABRAL, 2007 apud SOUZA, et al., 2014).

A dosagem do concreto quando forem utilizados os agregados reciclados com uma menor massa específica deverá ser levado em consideração um volume maior de agregado reciclado quando forem tomar massas iguais de agregados convencionais e reciclados (TENÓRIO, 2007).

Para Leite (2001) deve ser realizada uma compensação na quantidade de material reciclado a ser usado nos concretos em função dos valores de massa específica e unitária serem inferiores ao dos agregados convencionais.

O método utilizado na NBR NM 53 (ABNT, 2009) baseado no princípio de Arquimedes para determinar a absorção e a massa específica dos agregados. De acordo com Arquimedes, quando um corpo é imerso em um fluido recebe deste um empuxo verticalmente de baixo para cima, igualo volume deslocado, sendo assim a força resultante é igual ao peso do corpo menos o seu empuxo.

#### 2.7.4 Argamassa aderida

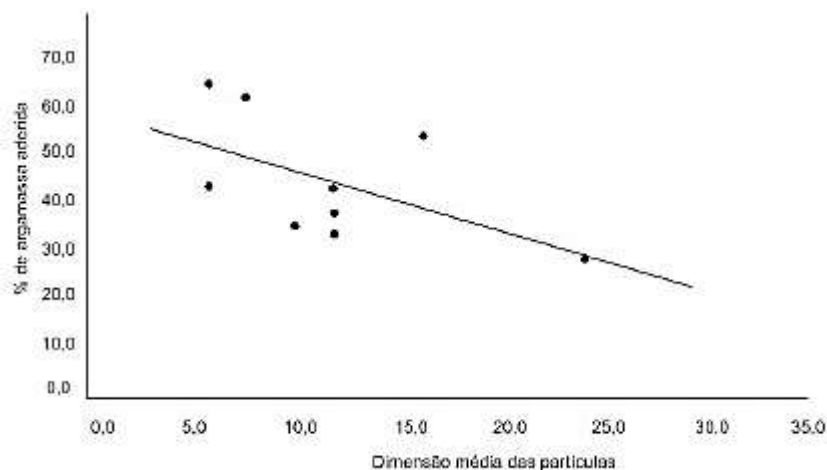
Os agregados reciclados para Gonçalves, R., (2001, p. 100) são “muito influenciados pela argamassa, seja em pedaços ou aderida na superfície do agregado graúdo natural”.

Os agregados reciclados possuem uma quantidade de argamassa aderida em suas partículas, o qual difere dos agregados convencionais. A presença dessa argamassa influencia na massa específica, taxa de absorção, resistência mecânica e na durabilidade dos concretos com eles produzidos (CORDEIRO, 2013). Existe influencia nas propriedades do concreto, seja no estado fresco ou endurecido (GOLÇALVES, R., 2001).

Cordeiro (2013) concluiu que quando menor a resistência do concreto de origem dos agregados reciclados, maior será a quantidade finos presentes, em consequência dessa fragilidade durante o manuseio desse material, os agregados menos resistentes apresentam uma quantidade de argamassa aderida menor.

O tamanho dos grãos segundo Sanchez (2004 apud CORDEIRO, 2013) influenciam na quantidade de argamassa aderida, onde quanto menor o grão maior é a porcentagem de argamassa. Amorim (2008 apud CORDEIRO, 2013) por análise confirmou a tese, verificando que para frações menores o volume de argamassa aderida é maior (Figura 4) em comparação aos agregados convencionais.

Figura 4- Porcentagem de argamassa aderida em função da dimensão média das partículas



Fonte: Amorin (2008), adaptado

Quanto maior a quantidade de argamassa aderida nos agregados implica em menores massas específicas, maior absorção de água e menor resistência à abrasão (TSENG, 2010 apud CORDEIRO, 2013).

Juan e Gutiérrez (2004 apud CORDEIRO, 2013) indicam que a quantidade limite ideal de argamassa aderida ao agregado convencional seja de 44%.

Os concretos com maior quantidade de argamassa e cerâmica nos estudos de Lovato (2007) necessitaram de uma maior quantidade de água para obter trabalhabilidade, e quanto maior a substituição do agregado graúdo reciclado, maior a relação água/cimento.

Com relação a ensaios para determinar essas características ainda não possuem uma normatização específicas, contudo várias bibliografias demonstram alguns ensaios

frequentemente usados como tratamento com ácido clorídrico, térmico e análise com planímetro, onde os resultados tratam-se de estimativas aproximadas.

#### 2.7.5 Forma dos grãos

A forma das partículas dos agregados reciclados é determinada pelo equipamento de britagem, e quando é britada, sua forma fica angulosa e áspera em sua superfície. Assim, esses agregados devem ser estudados buscando aperfeiçoar seu desempenho.

De acordo com Marmash (2000 apud CORDEIRO, 2013) em seus estudos verificou que o sistema de britagem dos resíduos interfere diretamente no coeficiente de forma dos agregados.

Os agregados reciclados segundo Sanchez (2004 apud CORDEIRO, 2013) que são beneficiados em britados de impactos e de cone possuem uma angulosidade maior.

Os britadores de mandíbulas produzem agregados reciclados mais apropriados para se utilizarem em concretos quando comparados com os britados de impacto (MARMASH, 2000 apud CORDEIRO, 2013).

Para Cordeiro (2013) a forma e a textura superficial dos agregados influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto.

Quando se compara o formato dos grãos, é observado que os que possuem uma textura muito lisa, podem induzir uma aderência menor entre a pasta de cimento e a superfície do agregado, podendo prejudicar a resistência à tração do concreto nas primeiras idades (NETO, 2005 apud KRÜGER et al., 2017).

Para Coutinho (2000 apud CORDEIRO, 2013) os agregados com partículas menos angulares apresentam atrito interno relativamente baixo, o que possibilita um arranjo das partículas, melhorando a trabalhabilidade dos concretos.

Os concretos que utilizam agregados com partículas de textura áspera, angulosa e alonga necessitam de um maior volume de pasta de cimento quando se compara com as partículas arredondas e lisas (CORDEIRO, 2013). Onde o aumento do consumo de pasta afeta no custo final do concreto.

Para Levy (2001 apud KRÜGER et al., 2017) os concretos que utilizam agregados angulares quando comparados aos lamelares, necessitam de um consumo maior de cimento para se manter uma consistência.

Conforme Cordeiro (2013), os agregados reciclados de concreto são geralmente mais irregulares e angulares, com texturas mais ásperas e rugosas quando comparados com os agregados convencionais.

Há diversos métodos para se avaliar a forma dos agregados, onde será utilizado o método direto que se baseia em medir um número de partículas usando um paquímetro, como se descreve na NBR 7809 (ABNT, 2006).

#### 2.7.6 Teor de material pulverulento

Os finos segundo Soares e Mendes (1999 apud CORDEIRO, 2013) provenientes de britagem são todos onde as suas partículas são menores que 4,8mm, e os microfios ou filler são os materiais com partículas menores de 0,0075mm.

A quantidade de finos quando está presente em grande quantidade nos agregados afetam a aderência da pasta de cimento com os agregados, o que aumenta a quantidade de água na mistura (CORDEIRO, 2013).

O teor de finos e materiais pulverulentos em agregados reciclados tende a ser maior que nos agregados convencionais (TENÓRIO, 2007).

Nos agregados reciclados existem finos e microfios que aderem em suas partículas durante o seu processo de beneficiamento. Quando estes estão em quantidades adequadas podem gerar resultados satisfatórios de desempenho mecânico, pois ocupam os vazios entre as partículas maiores, possibilitando um melhor ajuntamento das partículas na produção de concretos (CORDEIRO, 2013). Porém quando há em excesso há exigência de uma maior quantidade de água na pasta para não afetar a trabalhabilidade e além de mais afetam a aderência da pasta com esses agregados.

Segundo Miranda (2000 apud PANKA e MACHOSKI, 2011) os métodos tradicionais para determinar o teor de material pulverulento nos agregados é algo deprecável e passíveis em erros, pois a demora a lavagem do material, o qual pode prejudicar o resultado e qualidade do ensaio.

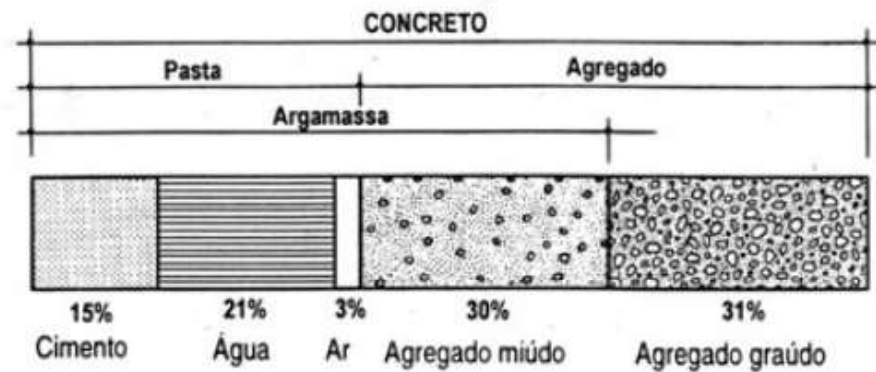
## **2.8 Caracterização do Concreto com Agregado Reciclado**

O concreto é considerado um dos materiais construtivos mais utilizados nos dias atuais, sendo encontrado em qualquer tipo de construção, desde pequenas residências até pontes e rodovias (GONÇALVES, E., 2015).



De acordo com Coutinho (2016 apud JUNIOR, 2016) os agregados correspondem de 55 a 70% do volume total e concreto. A Figura 5 demonstra as porcentagens médias dos componentes por volume de um concreto comum.

Figura 5- Porcentagens médias por volume de um concreto comum



Fonte: Slide Player (2015)

Para Andrade (2005 apud KRÜGER et al., 2017 ) muitas patologias encontradas no concreto são provenientes dos materiais constituintes, sendo assim cada material deve ser controlado para obter um concreto com maior qualidade. Portanto as propriedades dos agregados merece atenção, pois são propícias de influenciar as propriedades dos concretos (TENÓRIO, 2007).

Para Gonçalves, R. (2001) o agregado graúdo é a fase que mais influencia a densidade, o módulo de elasticidade e a estabilidade dimensional do concreto.

Segundo Lima (1999 apud SILVA, et al., 2014) as características dos concretos com agregados reciclados variam mais que os de agregados convencionais.

Os agregados reciclados na maioria das vezes apresentam características diferentes dos concretos com agregados convencionais, sendo que essa diferença está relacionada à qualidade e o tipo desse agregado.

Com a utilização dos agregados reciclados para dosagens de concreto, dentre outros, resulta em uma diminuição no custo de exploração dos agregados convencionais (BATISTA, 2009).

De acordo com Batista (2009), no Brasil diversas pesquisas foram realizadas nos agregados reciclados, demonstrando a possibilidade do seu aproveitamento em concreto, porém para isso se tem a necessidade de conhecer os resíduos que serão utilizados.

Observando a Tabela 17 é possível verificar que um dos principais problemas dos concretos que utilizam os agregados reciclados está na maior deformação quando comparado com os concretos que utilizam agregados naturais.

Tabela 17- Diferenças entre concreto reciclado e concreto natural

<b>Propriedade</b>	<b>Diferença</b>
Absorção de água	Maior
Massa específica	Menor
Módulo de elasticidade	Menor
Retração do concreto	Maior
Resistência à compressão	Igual
Fluência	Maior

Autor: Gonçalves, R. (2001), adaptado

Yang et al., (2008 apud LIMA, et al., 2014) através de um experimento realizado para avaliar a influência da substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados de RCD, chegaram a várias conclusões, sendo as mais importantes:

- O abatimento do concreto com agregados reciclados foi ligeiramente afetado pela maior absorção de água dos agregados, sendo tanto menor quanto maior a absorção do agregado;
- A quantidade total de água e a taxa de exsudação do concreto fresco decresceram com o aumento da absorção de água dos agregados reciclados;
- A resistência à compressão do concreto com agregados graúdos reciclados com baixa absorção foi similar ao do concreto de referência com agregados naturais, apresentando redução menor que 10%. No entanto, a resistência à compressão do concreto com agregados miúdos e graúdos de alta absorção, foi equivalente a 60% e 80% da resistência do concreto de referência com agregados naturais nas idades iniciais de 1 a 3 dias. Já aos 28 dias,

o concreto com 100% de agregados reciclados apresentou uma redução de até 32% na resistência quando comparado ao concreto de referência;

- A resistência à tração e o módulo de elasticidade do concreto com agregados reciclados também diminuíram com o aumento da absorção de água dos agregados;

### 2.8.1 Porcentagem de substituição

Os resíduos sólidos podem substituir partes dos materiais utilizados na produção de concretos, os denominados agregados. Esses agregados são misturados ao cimento e água, com intuito de minimizar o custo final do concreto, e também pode interferir nas características desse concreto, como a retração, a resistência a sua densidade (CUNHA, 2015).

“A substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, diminuição da poluição gerada pela produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta” (PEREIRA et al., 2011).

Nos estudos de Olorunsogo e Padayanachee (2002 apud BATISTA, 2009) observaram a substituição dos agregados convencionais pelos agregados reciclados foram verificados que a durabilidade diminuiu na proporção que aumentava o percentual de substituição.

Aguiar et al., (2002 apud LEVY, S., 2006) observaram que em substituições de até 20% dos agregados convencionais pelos agregados reciclados, não apresentam alterações significativas na resistência à compressão do concreto, porém deve se ter atenção na relação da absorção de água desses agregados.

Hansen (1992 apud ZANGESKI, et al., 2017) acredita que, se substituir apenas 30% do agregado convencional pelo reciclado, não haveria mudanças significativas nas características dos concretos.

Uma das normas holandesas citadas com Batista (2009) prevê que seja substituído 20% dos agregados convencionais por agregados reciclados, pois com essa porcentagem não se alteram as propriedades mecânicas do concreto em função da sua tipologia.

Já a conclusão de Levy (2001 apud KRÜGER et al., 2017) em seu estudo, é que os concretos produzidos de agregados reciclados, na proporção de 50%-50% em massa, seria mais duráveis que o concreto de referência.

É observada grande variabilidade quanto à porcentagem de substituição dos agregados convencionais pelo reciclados, em função das bibliografias citadas, sendo assim é interessante cada estudioso do assunto fazer vários ensaios com porcentagens variadas para obter uma melhor comparação dos resultados e posteriormente supor a melhor solução.

### 2.8.2 Absorção de água

A absorção de água no concreto esta relacionada ao total de poros permeáveis na estrutura e o índice de vazios relacionado com todos os poros existentes (KRÜGER et al., 2017).

A porosidade afeta o desempenho mecânico do concreto, estando os dois relacionados com a relação água/ cimento, pois quanto maior essa relação maior será a porosidade afetando e enfraquecendo a matriz cimenteira (MEHTA; MONTEIRO, 2008 apud KRÜGER et al., 2017).

Conforme Levy, S (2006) a absorção de água e o volume total de poros aumentam em consequência do acréscimo de agregados reciclados no concreto.

Como o agregado proveniente de RCD é mais poroso que os agregados convencionais, a probabilidade que este absorva uma quantidade maior de água, conseqüentemente pode ocorrer alterações na trabalhabilidade imposta para o concreto fresco (WERLW, et al., 201 apud ZANGESKI, et al., 2017).

Gonçalves, R., (2001) recomenda-se que o para dosagens de concreto que iram utilizar agregado reciclado é interessante que a parcela desse material esteja úmida em função do seu ato grau de absorção.

A água que é absorvida inicialmente no agregado reciclado tende a retornar para a pasta de cimento, o que pode dificultar após um tempo o ajuste correto da trabalhabilidade, e a relação água/cimento alterando as propriedades mecânicas do concreto (MODLER e POZZOBON, 2008).

Moreira e Figueiredo (2010) com seu estudo verificou que quando não se utilizou a pré-saturação dos agregados reciclados, pode ter possibilitado o preenchimento dos agregados pela pasta de cimento, gerando uma menor diferença relativa ao desempenho do concreto convencional comparado com o produzido de agregados reciclados.

### 2.8.3 Trabalhabilidade

O concreto deve possuir uma trabalhabilidade que permita o máximo adensamento evitando a segregação, onde o adensamento consiste em retirar o ar do concreto, onde se estiver 5% de vazios implicarão numa redução de 30% na resistência desse concreto (NEVILLE, 2016 apud ZANGESKI, et al., 2017).

Quando se compara os agregados reciclados com os convencionais segundo Cabral (2007 apud SOUZA, et al., 2014) observa-se que a trabalhabilidade do concreto é afetada chegando a apresentar resultados menores. A explicação pode ser dada devida o fato dos agregados reciclados serem mais secos que os convencionais, necessitando de maior absorção de água, no qual os mesmos retiram água do processo que seria usado no cimento gerando menor trabalhabilidade.

O agregado graúdo reciclado por ser mais poroso, necessitará de mais água para obter a mesma trabalhabilidade do concreto que se utiliza agregado convencional (BATISTA, 2009). A porosidade é uma propriedade que serve como um parâmetro de controle do agregado reciclado, o qual pode ser monitorado pela massa específica e /ou absorção de água (TENÓRIO, 2007).

Para Bazuco (1999 apud ZANGESKI, et al., 2017) em seu estudo foi considerado um prejuízo em relação à trabalhabilidade e a coesão do concreto, pelo fato do agregado reciclado encontrar menos lamelar que o convencional, com uma rugosidade na sua textura superficial influenciando no comportamento do concreto.

### 2.8.4 Resistência à compressão

Zaharieva et al., (2002 apud BATISTA, 2009) afirma que a resistência dos concretos com agregados reciclados são menores em comparação dos produzidos com agregados convencionais pelo fato da alteração da relação água/cimento.

Conforme Krüger et al., (2001) os agregados graúdos reciclados possuem maior influência sobre a resistência a compressão comparados com os agregados miúdos reciclados.

Os concretos ensaiados por Molin et al., (2004) foi verificado que quanto menor a relação água/cimento e um maior percentual de substituição do agregado graúdo reciclado, menores foram os valores de resistência desse concreto. Esse resultado pode ser explicado devido à baixa resistência e densidade do grão do agregado.

Para Tenório (2007), os concretos apresentam melhoria de suas propriedades, como a resistência a compressão e maior módulo de elasticidade à medida que a massa específica dos agregados reciclados aumentam.

Os concretos com agregados reciclados, para que a resistência à compressão seja alcançada, é necessário que ao agregado reciclado passe por um beneficiamento, como o peneiramento ou a lavagem para diminuir a porcentagem de finos na amostra (BATISTA, 2009).

Chen et al., (2003 apud BATISTA, 2009) realizaram ensaios com concretos utilizando agregados graúdos reciclados oriundo de concretos e tijolos, a fim de observar os resultados dos concretos quando fossem lavados os agregados reciclados e não lavados. Os resultados encontrados mostraram que os concretos reciclados que utilizaram agregados graúdos lavados apresentaram em torno de 90% de resistência a compressão no concreto. Enquanto que o concreto o qual os agregados reciclados não foram lavados a resistência à compressão não passou de 75%.

Hansen (1992 apud PEREIRA et al.,2011) observou que nos concretos que foram utilizados agregados graúdos reciclados ocorreu uma queda de 5% no valor da resistência a compressão.

Bazuco (1999 apud ZANGESKI, et al., 2017) concluiu em sua pesquisa que a resistência à compressão dos agregados graúdos reciclados foram cerca de 15 a 20% menores comparados com os agregados convencionais ao concreto.

Segundo Cabral (2007) a resistência dos concretos com agregados convencionais superam 45 % os produzidos com agregados reciclados.

Os testes realizados por Hansen (1992 apud SOUZA, et al., 2014) com a substituição dos agregados convencionais pelos reciclados, obteve um resultado do concreto submetido a forças de compressão uma melhoria de resistência em até 33%.

Pode-se dizer que a diferença dos resultados encontrados pelos autores, está em função dos dados coletados, processo de britagem, origem do material dentre outros.

### 3 MATERIAIS E METÓDOS

#### 3.1 Objetivo do estudo de caso

O estudo de caso visa demonstrar e comprovar que os resíduos de construção e demolição podem ser reaproveitados como agregados, desde que o mesmo passe por um processo de beneficiamento e que se faça uma análise qualitativa desse material.

Sendo assim o estudo consiste em avaliar a viabilidade do agregado graúdo reciclado proveniente de RCD, onde serão realizados ensaios em laboratório instruídos em normas específicas, com o objetivo de verificar as propriedades desse agregado a fim de comparar com as características dos agregados convencionais.

#### 3.2 Local do Estudo

No ano de 2015 na cidade de Varginha foi inaugurada a primeira empresa de Reciclagem de Resíduos Sólidos da Construção Civil do Sul de Minas. O objetivo da empresa é o fornecimento de descarte correto dos resíduos provenientes da construção civil, possibilitando a obtenção de agregados reciclados como, areia reciclada, pedrisco reciclado, brita reciclada, rachão, dentre outros. A Eco Vias está instalada na Rua Antônio Bernardes Pereira, 3000 na cidade de Varginha (Figura 6).

Figura 6- Eco Vias em Varginha-Mg



Fonte: A autora

A empresa recebe em seu pátio entulhos provenientes de construção e demolição, entretanto vale ressaltar que chegam ao pátio em meio aos entulhos material plástico, metal, madeira, papelão, gesso, eletrodomésticos dentre outros que são lançados dentro das caçambas (Figura 7).

Figura 7-Resíduos depositados no pátio da empresa



Fonte: A autora

Os resíduos são transportados até a usina por caminhões basculantes. Após serem descarregados no pátio, é realizada a separação dos resíduos de forma manual pelos colaboradores da usina.

Pela razão de chegar o mais variado tipo de material no pátio é realizado a separação dos materiais, onde se baseia na separação e classificação dos materiais quanto ao seu tipo e classe, que envolvem os materiais com características semelhantes, se podem ser reciclados ou não e se podem ser usados para geração de agregados (PANKA e MACHOSKI, 2011).

A usina produz dois tipos de resíduos britados: o resíduo “Cinza”, que é o resíduo proveniente na maioria de entulhos de concreto, e o resíduo “Vermelho”, que é o proveniente dos materiais cerâmicos.

Após a separação dos resíduos, os mesmos passam pela britagem primária, através de um britador de impacto (Figura 8).



Figura 8- Resíduos em processo de britagem



Fonte: A autora

Após a britagem o material é levado através de esteiras para uma peneira vibratória (Figura 9), com o intuito de fim de chegar à granulometria desejada.

Figura 9- Esteiras que interligam na peneira vibratória



Fonte: A autora

Quando os resíduos são britados e peneirados, tornando-se agregados reciclados, sendo remetidos de acordo com a sua granulometria por esteiras para montes específicos (Figura 10), para que possam ser comercializados posteriormente. Na recicladora em questão

são disponíveis vários tipos de agregados, como a areia reciclada, pedrisco reciclado, brita (1 e 2) reciclada, rachão e misto tipo bica corrida.

Figura 10-Montes específicos em função da granulometria dos agregados reciclados



Fonte: A autora

A empresa cita como utilização dos agregados oriundos de resíduo cinzas na fabricação de muros, calçadas, dentre outros. E os vermelhos em aterros e na colocação em vias rurais. Os agregados reciclados são vendidos a 30% abaixo do mercado de agregados convencionais.

### **3.3 Coleta do material de estudo e seu armazenamento**

#### **3.3.1 Agregado Convencional**

O agregado convencional que será utilizado no estudo foi disponibilizado pela Pedreira Santo Antônio localizada na cidade de Varginha na Avenida dos Imigrantes, 1259, Vargem. As amostras coletadas foram do agregado graúdo denominado Brita 1 (Max =19 mm). A coleta foi realizada no final da linha de produção da usina, sendo colocado em sacos de nylon de 50 Kg.

Com o material coletado foi transportado, ficando armazenado no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas-UNIS no campo Cidade Universitária, localizada na Avenida Alzira Barra Gazzola, 650, Bairro Aeroporto.

### 3.3.2 Agregado Reciclado

O agregado reciclado que será utilizado no estudo foi disponibilizado pela empresa Eco Vias de Reciclagem de resíduos de construção e demolição, localizada na cidade de Varginha na Rua Antônio Bernardes Pereira, 3000, São Geraldo. As amostras coletadas foram do agregado graúdo reciclado, denominado Brita 1 (Max=19 mm). A coleta foi realizada no final da linha de produção da usina, sendo colocado em sacos de nylon de 50 Kg.

Com o material coletado foi transportado, ficando armazenado no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas-UNIS no campo da Cidade Universitária, localizada na Avenida Alzira Barra Gazzola, 650, Bairro Aeroporto.

### 3.3.3 Agregado Miúdo

Para o estudo em questão foram utilizados dois tipos de agregados miúdos, a denominado areia média e a areia grossa. Os dois agregados foram adquiridos na empresa Areal São Cristovam, localizada na cidade de Varginha na Avenida Celina José Francisco Coelho, 245, Distrito Industrial Cláudio Galvão Nogueira.

Os materiais necessários foram adquiridos em sacos plásticos de 20 Kg, logo foram transportados, ficando armazenado no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário do Sul de Minas-UNIS no campo da Cidade Universitária, localizada na Avenida Alzira Barra Gazzola, 650, Bairro Aeroporto.

### 3.3.4 Cimento Portland

Para o estudo em questão foram utilizados dois tipos de Cimento Portland, o denominado CPII-E e o CPV-ARI, adquiridos na empresa Clube da Casa-Gaiolins Madeiras, localizada na cidade de Varginha na Avenida Princesa do Sul, 500, Jardim Andere.

O cimento Portland CPII-E, denominado Ultra forte é do fabricante Holcim, o qual foi adquirido um saco de 50 Kg. O CPV-ARI utilizado foi do fabricante Cauê, o qual foi adquirido um saco de 40 Kg (Figura 11).

Figura 11-Cimento Portland utilizados



Fonte: A autora.

### 3.4 Caracterização dos materiais por meios de ensaios

O programa experimental será realizado através das Normas Regulamentadoras (ABNT), que são denominadas Normas Brasileiras. As normas que serão utilizadas informam e determinam os procedimentos que devem ser realizados com os agregados (miúdos e gráudos) e o Cimento Portland com o intuito de caracterizar os mesmos.

Os ensaios para a caracterização dos agregados serão demonstrados posteriormente, o qual os ensaios serão realizados para os agregados gráudos naturais e os agregados gráudos reciclados. O objetivo da realização dos ensaios consiste em realizar uma comparação dos agregados a fim de verificar a possibilidade nos próximos estudos de se utilizar os agregados reciclados em concretos.

Os agregados naturais, também denominados convencionais foram caracterizados seguindo os métodos especificados nas normas da ABNT. Com relação aos agregados reciclados foram caracterizados seguindo os mesmos métodos especificados para os agregados naturais, em decorrência de não existir normas próprias para a caracterização dos mesmos.

### 3.4.1 Agregado Graúdo

#### 3.4.1.1 Amostragem dos agregados (NBR NM 26:2009)

Para o estudo de caso foi realizado como coleta uma amostra parcial, que como o próprio nome diz uma parcela de agregado obtida de uma só vez do lote de agregado, obedecendo aos planos de amostragem.

A amostra é algo tão importante quanto o ensaio, pois é a partir delas que são caracterizados os agregados, sendo representativos quanto à natureza e suas características.

Os agregados reciclados e os convencionais estavam depositados em pilhas, sendo assim foram coletados seguindo os procedimentos disposto na NBR NM 26.

O número das amostras parciais foram feitas em função dos ensaios físicos que serão realizados, onde esse número foi considerado para ser suficiente para abranger todas as possíveis variações e assegurar a representatividade da amostra. A Tabela 18 demonstra a quantidade de amostras mínimas necessárias em função da granulométrica do agregado.

Tabela 18-Quantidade de amostras a serem coletadas para ensaios físicos ou químicos

Tamanho nominal do agregado	Número mínimo de amostras parciais	Quantidade total da amostra de campo (mínimo)	
		Em massa (Kg)	Em volume (dm <sup>3</sup> )
≤ 9,5mm	3	40	25
> 9,5 mm ≤ 19 mm		40	25
> 19 mm ≤ 37,5 mm		75	50
> 37,5 mm ≤ 75 mm		150	100
> 75 mm ≤ 125 mm		225	150

**NOTA 1** As massas ou volumes considerados referem-se a agregados de massa específica entre 2 g/cm<sup>3</sup> e 3 g/cm<sup>3</sup>. A quantidade total de amostra de campo, em volume, leva em conta critérios práticos usuais.

**NOTA 2** Para agregados de dimensões superiores de 75mm, a quantidade mínima de amostra de campo deve ser fixada para cada caso específico, tomando, pelo menos, vinte amostras parciais.

Fonte: ABNT ( NBR NM 26:2009), adaptado

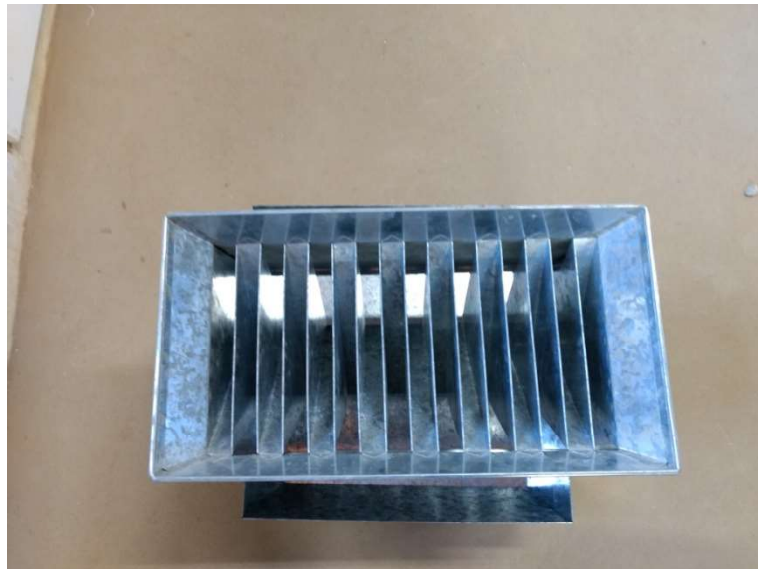
Conforme a tabela foi verificado que o número mínimo de amostras parciais foram de 3 amostras, a coleta se deu em função do tamanho nominal dos agregados em estudo. Sendo assim de acordo com a tabela foi necessário uma quantidade mínima de 120 Kg de amostra de agregado. Porém foi decidido coletar uma quantidade de 300 Kg de cada agregado

(Convencional e Reciclado), pois caso necessário fosse realizadas outras avaliações do material.

#### 3.4.1.2 Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (NBR NM 27: 2001)

Para realizar os ensaios com os agregados foi necessário reduzir a amostra de campo, de acordo com a NBR NM 27. Para realizar a redução às amostras tiveram que estar levemente umedecidas, para evitar a perda de materiais finos. A redução das amostras para cada ensaio foi realizada através de um separador mecânico (Figura 12).

Figura 12-Separador mecânico



Fonte: A autora.

As amostras foram colocadas no separador sendo distribuídas uniformemente ao longo do mesmo, numa velocidade que possibilitou que os agregados passassem livremente através das calhas para o recipiente colocado abaixo delas. As amostras foram reintroduzidas no sensor até serem obtidas a quantidade de amostra necessária para cada ensaio realizado.

#### 3.4.1.3 Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2001)

Para se determinar a composição granulométrica dos agregados graúdos foi necessário reduzir as amostras para o ensaio de acordo com a NBR NM 27. O ensaio foi realizado para

duas amostras de cada tipo de agregado, de acordo com a NBR NM 248, onde a massa mínima por amostra de ensaio de acordo com a Tabela 19 foi de 5 Kg .

Tabela 19-Massa mínima por amostra de ensaio

<b>Dimensão máxima nominal do agregado (mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra de ensaio (Kg)</b>
< 4,75	0,3'
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(') Após secagem.

Fonte: ABNT ( NBR NM 248:2001),adaptado

As amostras foram levadas para a estufa ( $105 \pm 5$  °C) para secagem até constância de peso e determinada suas massas ( $M_1$  e  $M_2$ ). Após foi tomada a amostra de massa  $M_1$  e reservada a de massa  $M_2$ .

O conjunto de peneiras para ser utilizados no agitador mecânico de peneiras, são divididos em peneiras de série normal e série intermediária. Onde a abertura de malha de cada uma se encontra na Tabela 20.

Tabela 20- Série de peneiras

<b>Série Normal</b>	<b>Série Intermediária</b>
<b>75 mm</b>	-
-	63 mm
-	50 mm
<b>37,5 mm</b>	-
-	31,5 mm
-	25 mm
<b>19 mm</b>	-
-	12,5 mm
<b>9,5 mm</b>	-

-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 $\mu\text{m}$	-
300 $\mu\text{m}$	-
150 $\mu\text{m}$	-

Fonte: ABNT (NBR NM 248:2001), adaptado

A Figura 13 demonstra o conjunto de peneiras sucessivas da série normal e série intermediária com a tampa no fundo.

Figura 13-Peneiras da série normal e série intermediária



Fonte: A autora

Para o ensaio em questão foram consideradas apenas as peneiras de 31,5 mm; 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600  $\mu\text{m}$ ; 300  $\mu\text{m}$ ; 150  $\mu\text{m}$  e fundo.



As peneiras previamente limpas foram encaixadas corretamente com a abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, o qual foi provido também à colocação de um fundo de peneiras no conjunto. Os procedimentos abaixo foram realizados para a amostra M<sub>1</sub> e para a amostra M<sub>2</sub>.

Como existe um limite estabelecido da máxima quantidade de material sobre tela de peneiras com caixilhos redondos de 203 mm de diâmetro (Tabela 21), houve a necessidade de realizar o peneiramento de porções em porções da amostra evitando sempre a formação de uma camada espessa do material sobre qualquer uma das peneiras.

Tabela 21- Máxima quantidade de material sobre as telas das peneiras

<b>Abertura da malha (mm)</b>	<b>Máxima quantidade de material sobre a tela (peneiras com caixilhos redondos, de 203 mm de diâmetro) (Kg)</b>
50	3,60
37,5	2,70
25	1,80
19	1,40
12,5	0,89
9,5	0,67
4,75	0,33
< 4,75	0,20

Fonte: ABNT (NBR NM 248:2001), adaptado

Para cada amostra houve a necessidade de realizar dois peneiramentos com peneiras de malhas distintas, uma vez que o agitador mecânico (Figura 22) não comportava todas as peneiras de uma única vez para realizar o ensaio.

Figura 14- Peneiramento no agitador mecânico



Fonte: A autora

O material retido em cada peneira foi removido para uma bandeja identificada sendo escovada a peneira de ambos os lados para não deixar resto do material, onde foi considerado o material removido pelo lado interno como retido e o despreendido na parte inferior como passante. Foi determinada a massa total do material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. Onde o somatório dessa massa não poderá diferir mais de 0,3% da massa da amostra de acordo com a NBR NM 248.

É necessário que se obtenha a dimensão máxima característica do material, o qual corresponde à abertura, em milímetros, da malhada maneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Para cada uma das amostras foi calculado a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. As amostras devem apresentar a mesma dimensão característica (DMC) e nas demais peneiras os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si. Caso isso ocorra o ensaio deverá ser repetido com outras amostras a fim de atender a exigência da norma.

Foram calculadas as porcentagens médias, retida e acumulada em cada peneira. Houve a determinação do modulo de finura de cada amostra através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras de série normal, dividida por 100.

#### 3.4.1.4 Determinação de massa unitária (NBR NM 45: 2006)

Para determinar a massa unitária e volume de vazio e necessário a redução da amostra definido na NBR NM 27. A amostra tomada para o ensaio foi de aproximadamente 150% da quantidade de material requerido para encher o recipiente que é determinado na Tabela 22.

Tabela 22- Característica do recipiente

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	Capacidade mínima (dm <sup>3</sup> )	Diâmetro (mm)	Altura interior (mm)
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 \leq d \leq 50$	15	260	282
$50 \leq d \leq 75$	30	360	294

Fonte: ABNT (NBR NM 248:2001), adaptado

No ensaio em questão foi utilizado um recipiente de 310 x 310 x 200 mm. Essa amostra foi secada em estufa (105°C ± 5°C) até a constância de massa. A norma especifica o Método A para determinar a massa unitária do material compactado e o Método C para determinar a massa unitária de material no estado solto.

O Método A consiste em determinar a massa do recipiente (Mr) e em seguida encher o recipiente com o agregado graúdo até um terço de sua capacidade nivelando a superfície com os dedos. Após esse procedimento foi efetuado o adensamento da camada com 25 golpes através da haste de adensamento distribuídos uniformemente em toda a superfície do material. Em seguida continuou o mesmo procedimento informado até o enchimento de todo o recipiente. Por ultimo foi nivelado à camada superficial do agregado com a borda do recipiente, sendo registrado a massa do recipiente mais a massa do agregado (Mr+Ma).

O Método C consistiu em determinar a massa do recipiente (Mr) e em seguida encher o recipiente até que o agregado graúdo fosse transbordado, utilizando uma pá, despejando o agregado de uma altura inferior a 50 cm em comparação com a borda do recipiente. A camada de agregado foi nivelada superficialmente e registrado a massa do recipiente mais a massa do agregado. A massa unitária foi dimensionada pela fórmula:

$$\rho_{ap} = \frac{(M_r + M_a) - M_r}{V}$$

Onde:

Pap é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

Mr é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

Ma é a massa do agregado, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos;

3.4.1.5 Determinação material fino que passa através da peneira 75 µm (NBR NM 46:2001)

Para determinar a porcentagem de fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem primeiramente é necessário reduzir o agregado aplicando os procedimentos definidos na NBR NM 27. A Massa da amostra foi definida em função da Tabela 23. Foi necessário realizar dois ensaios para cada tipo de agregado.

Tabela 23- Massa mínima da amostra para ensaio

<b>Dimensão máxima nominal (mm)</b>	<b>Massa mínima (g)</b>
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
37,5 ou superior	5000

Fonte: ABNT (NBR NM 46:2001), adaptado

A amostra foi levada para a estufa ( $110 \pm 5$  °C) para secagem até constância de massa com precisão de 0,1 % mais próxima da massa da amostra de ensaio (Mi). Após a secagem e a determinação da massa, a amostra de ensaio foi colocada num recipiente e foi adicionado água até cobri-la (Figura 15).

Figura 15- Agregado reciclado e agregado convencional coberto por água



Fonte: A autora

A amostra de cada tipo de agregado foi vigorosamente agitada com o intuito de obter uma completa separação de todas as partículas mais finas que  $75 \mu\text{m}$  das maiores e para que todo o material fino ficasse em suspensão. A água de lavagem contendo os agregados foi sendo dispostas num jogo de peneiras, onde a inferior tinha malha de  $75 \mu\text{m}$  e a superior de  $1,18 \text{ mm}$ . Foi adicionada uma segunda quantidade de água a amostra no recipiente, agitando e passando pelas peneiras como descrito anteriormente. A operação foi repetida até que a água da lavagem ficasse clara.

Depois de verificar a claridade da água foi retornado todo o material retido nas peneiras com um fluxo contínuo de água sobre a amostra lavada. A mostra foi levada a estufa a uma temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  até obter massa constante ( $M_f$ ). Após as massas ( $M_i$  e  $M_f$ ) obtidas foi calculado a quantidade de material que passou pela peneira  $75 \mu\text{m}$  pela fórmula abaixo:

$$M = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100$$

Onde:

$M$  é a porcentagem de material mais fino que a peneira de  $75 \mu\text{m}$  por lavagem;

$M_i$  é a massa original da amostra seca, em gramas;

$M_f$  é a massa da amostra seca após a lavagem, em grama;

O resultado foi à média aritmética de duas determinações, onde a diferença obtida nas duas determinações conforme a NBR NM 46 não deve ser maior que  $0,5\%$ . Quando a condição não for atendida será necessário realizar uma terceira determinação, adotando como o resultado do ensaio a média aritmética dos dois resultados mais próximo.

### 3.4.1.6 Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção (NBR NM 53: 2009)

Para o ensaio disposto na NBR NM 53 a amostra foi coletada seguindo o procedimento estabelecido na NBR NM 26 e reduzida de acordo com a NBR NM 27. A amostra utilizada no ensaio foi peneirada manualmente na peneira com abertura nominal de 4,75 mm, com o objetivo de eliminar todo o material passante nesta peneira. O material depois de passado na peneira foi lavado por completo para eliminar o pó ou outro material da superfície. A amostra foi levada a estufa ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) até massa constante. A massa mínima da amostra a ensaiar foi definida na Tabela 24.

Tabela 24- Massa mínima de amostra de ensaio

<b>Dimensão máxima característica (mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra de ensaio (Kg)</b>
12,5	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

ABNT (NBR NM 53: 2009), adaptado

A amostra para ensaio foi pesada de acordo com a Tabela 24 em um recipiente, em seguida foi submerso o agregado em água a uma temperatura ambiente por um período de  $24 \pm 4$  h. Depois desse tempo foi retirado a amostra da água e a mesma foi envolvida em um pano absorvente até que a água visível fosse eliminada. Após ser enxugada a amostra foi pesada com uma precisão de 1 g ( $M_s$ , agregado saturado com superfície seca).

Logo a amostra foi depositada num recipiente constituído de um cesto de arame com cobertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm, de forma a impedir a perda de material ou a retenção de ar quando for submerso. O cesto foi submerso em água e foi pesado com uma

precisão de 1 g ( $M_a$ , massa de água). Vale ressaltar que a balança foi zerada com o recipiente vazio e imersa na água.

Posteriormente a amostra foi levada a estufa ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) até massa constante e pesada com precisão de 1 g ( $M$ , agregado seco). Os cálculos que foram feitos posteriormente terão como resultado a média de duas determinações. Para o cálculo da massa específica do agregado seco foi utilizado a seguinte fórmula:

$$d = \frac{M}{M - M_a}$$

Onde:

$d$  é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$  é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

$M_a$  é a massa em água da amostra, em gramas;

A massa específica do agregado na condição saturado superfície seca é dado por:

$$d_s = \frac{M_s}{M_s - M_a}$$

Onde:

$D_s$  é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$M_s$  é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$M_a$  é a massa em água da amostra, em gramas;

Para a massa específica aparente o cálculo foi realizado pela fórmula:

$$d_a = \frac{M}{M_s - M_a}$$

Onde:

$D_a$  é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$M$  é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

$M_s$  é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

A absorção de água é calculado pela seguinte fórmula :

$$A = \frac{M_s - M}{M}$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

Ms é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

M é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

#### 3.4.1.7 Determinação do teor de umidade total (NBR 9939:2011)

Para o ensaio disposto na NBR 9939 a amostra foi coletada seguindo o procedimento estabelecido na NBR NM 26 e reduzida de acordo com a NBR NM 27. A massa mínima da amostra de agregado para o ensaio foi estabelecida em função da Tabela 25.

Tabela 25- Massa mínima de amostra para ensaio

<b>Dimensão máxima característica do agregado (mm)</b>	<b>Massa mínima da amostra de ensaio (g)</b>
9,5	1500
12,5	2000
19	3000
25	4000
38	6000
50	8000
76	13000

ABNT (NBR 9939:2011), adaptado

Foi determinada a massa inicial da amostra de ensaio ( $M_i$ ) em seguida a amostra foi levada para estufa ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) ate massa constante, denominado deste caso massa final ( $M_f$ ). O teor de umidade total foi calculado pela fórmula:

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100$$



Onde:

$h$  é o teor de umidade total, expresso em porcentagem (%). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

$M_i$  é a massa inicial da amostra, expressa em gramas;

$M_f$  é a massa final da amostra seca, expressa em gramas;

#### 3.4.1.8 Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (NBR 7808:2006)

O índice de forma é caracterizado como sendo a média da relação entre o comprimento ( $c$ ) e a espessura dos grãos do agregado ( $e$ ), sendo ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe.

O comprimento de um grão é a maior dimensão possível de ser medida em qualquer direção do grão. E a espessura é a menor distância possível.

Para o ensaio disposto na NBR 7809 a amostra foi coletada seguindo o procedimento estabelecido na NBR NM 26 e reduzida de acordo com a NBR NM 27. A massa mínima da amostra de agregado para o ensaio foi estabelecida em função da Tabela 26.

Tabela 26- Quantidade mínima de material para ensaio

Fração granulométrica (abertura da peneira)	Massa mínima da amostra inicial (Kg)
$\leq 19 \text{ mm}$	5
$> 19 \text{ mm e } \leq 25 \text{ mm}$	10
$> 25 \text{ mm e } \leq 37,5 \text{ mm}$	15
$> 37,5 \text{ mm}$	20

Fonte: ABNT (NBR 7809:2006), adaptado

A amostra foi seca em estufa ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ) até massa constante, sem seguida foi realizado a análise granulométrica da amostra de acordo com a ABNT NM 248. As frações passantes na peneira com abertura de malha de 9,5 mm e aquelas cuja porcentagem retida individual em massa foi menor ou igual a 5% serão desprezadas.

As frações que se enquadraram no disposto acima foi quarteada através do separador mecânico estabelecido na NM 27 até a obtenção do número de grãos obtidos na equação seguinte:

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \times F_i$$

Onde:

200 é o número de grãos necessários para a realização do ensaio;

Ni é o número de grãos a serem medidos na fração i;

Fii é a porcentagem de massa retida individual na fração i;

Caso o Ni seja fracionário será arredondado ao inteiro mais próximo.

Com o auxílio do paquímetro foi medido o comprimento e a espessura de cada grão obtido na fórmula acima, e por fim foi calculado o índice de forma.

#### 3.4.1.9 Agregados para concreto- Especificações (NBR 7211:2009)

Após ter sido realizado todos os ensaios de caracterização dos agregados, foram realizados uma verificação dos mesmos se há possibilidade na utilização de concretos. De acordo com a NBR 7211: 2009 os agregados obtidos por processo industriais e materiais reciclados, ou a mistura desses agregados a norma não é aplicável. Porém como ainda não existem normas específicas para a utilização de agregados reciclados, será adotado a norma apenas como parâmetro a fim de comparar com o agregado convencional.

A distribuição granulométrica determinada segundo a ABNT NM 248, deve atender os limites para agregado graúdo que estão estabelecidos na Tabela 27.

Tabela 27- Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retirada acumulada				
	Zona granulométrica (d/D <sup>a</sup> )				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0-5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	0-5	75-100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90-100
31,5 mm	-	-	0-5	75-100	95-100
25 mm	-	0-5	5-25 <sup>b</sup>	87-100	-
19 mm	-	2-15 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup> -95	95-100	-
12,5 mm	0-5 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup> -65 <sup>b</sup>	92-100	-	-
9,5 mm	2-15	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-
6,3 mm	40 <sup>b</sup> -65 <sup>b</sup>	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>b</sup> -100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-

---

<sup>a</sup> Zona granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo

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

---

Fonte :ABNT (NBR 7809:2006), adaptado

Na norma também é especificado que o índice de forma dos grãos do agregado para ser utilizado em concreto não poderá ser superior a 3, quando for determinado de acordo com a ABNT NBR 7809.

### 3.4.2 Agregado Miúdo

Para a caracterização dos agregados miúdos para o estudo em questão, foram realizados os ensaios dispostos abaixo, tanto para o agregado miúdo usualmente denominado como areia média, tanto para a areia grossa.

#### 3.4.2.1 Amostragem dos agregados (NBR NM 26: 2009)

Para o estudo em questão a amostragem dos agregados miúdos foi realizada conforme o item 3.4.1.1., onde foram necessários uma quantidade mínima de 3 amostras em função da granulométrica do material,totatizando em 120 Kg de amostra de agregado.

#### 3.4.2.2 Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório (NBR NM 27: 2001)

Para realizar os ensaios com os agregados foi necessário reduzir a amostra de campo, de acordo com a NBR NM 27, onde seguiu conforme o 3.4.1.2.

#### 3.4.2.3 Determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2001)

Para se determinar a composição granulométrica dos agregados graúdos foi necessário reduzir as amostras para o ensaio de acordo com a NBR NM 27. O ensaio foi realizado seguindo o item 3.4.1.3 onde foi necessária uma massa mínima da amostra de ensaio de 1 KG de cada agregado miúdo do estudo em questão.

#### 3.4.2.4 Determinação de massa unitária (NBR NM 45: 2006)

Para determinar a massa unitária e volume de vazio e necessário a redução da amostra definido na NBR NM 27. A amostra tomada para o ensaio foi de aproximadamente 150% da quantidade de material, onde o procedimento foi realizado de acordo com o item 3.4.1.4.

#### 3.4.2.5 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman (NBR 9776:1987)

Para o ensaio disposto na NBR 9776 a amostra foi coletada seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR NM 26 e reduzida de acordo com a NBR NM 27. A amostra para o ensaio foi seca em estufa até constância de massa. Foi necessária a utilização de um frasco de vidro composto por dois bulbos e um gargalo graduado, onde foi colocada uma quantidade de água no mesmo até a marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando em repouso afim que a água que estivesse aderida em torno do frasco escorresse totalmente. Posteriormente foi introduzido com cuidado 0,500 Kg de agregado miúdo seco no frasco e agitado com o intuito de eliminar todas as bolhas de ar. Por fim foi realizada a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco (L), o qual caracteriza o volume ocupado pelo conjunto de água-agregado miúdo (Figura 16).

Figura 16-Procedimento do ensaio



Fonte: A autora

Foi necessário a realização de duas terminações consecutivas feitas com a mesma amostra do agregado miúdo o qual não pode diferir entre si mais de 0,05 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica foi calculada através da formula abaixo:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

Onde:

$\gamma$  é a massa específica do agregado miúdo, expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

L é a leitura do frasco (ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo);

#### 3.4.2.6 Determinação da absorção de água (NBR NM 30: 2001)

Para a determinação da absorção de água presente nos agregados miúdos foi utilizado a NBR NM 30, o qual ocorreu à determinação desse material na condição saturada superfície seca (quando os agregados absorvem o máximo de água apresentando ainda superfície seca), o qual serão destinados para o uso em concretos.

Para a realização desse ensaio foi necessário à redução da amostra definida na NBR NM 27. A amostra tomada para o ensaio foi de aproximadamente 1Kg sendo obtida por quarteamento. A amostra foi colocada em um recipiente e levada para a estufa em uma temperatura de (105± 5) C° até obter a constância de massa (M).

Posteriormente a amostra foi coberta com água e deixada em descanso por 24 horas. A amostra foi retirada da água e estendida sobre uma superfície plana sendo submetida à ação de uma corrente de ar quente, a fim de assegurar a secagem do material uniformemente até que os grãos não estivessem mais aderidos entre si.

O agregado miúdo então foi colocado em um molde tronco-cônico metálico sem comprimir o material e foi aplicado sobre a superfície 25 golpes com a haste de compactação. Após a compactação, o molde foi levantado verticalmente, o qual foi verificado que existia ainda umidade superficial, o qual demonstro que o agregado conservou-se na forma do molde, sendo assim foi necessário continuar a secagem e realizado novas tentativas até que o agregado miúdo desmoronasse ao ser retirado (Figura 17), chegando então na condição saturado superfície seca, o qual foi determinado sua massa (Ms).

Figura 17-Agregado miúdo após a retira do molde



Fonte: A autora

A absorção de água foi calculada através da fórmula:

$$A = \frac{M_s - M}{M} \times 100$$

Onde:

A é a absorção de água ,em porcentagem;

Ms é a massa ao ar da amostra na condição saturado e de superfície seca, em gramas;

M é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

### 3.4.3 Cimento Portland

Andolfato (2002) caracteriza cimento como sendo qualquer material que possui a capacidade de ligar os agregados a fim de tornar um corpo sólido. O cimento Portland é denominado um ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland adicionado a fontes de sulfato de cálcio e teores de minerais, onde de acordo com a ABNT (NBR 16697/2018), os cimentos Portland são designados por tipo, com siglas, classe de resistência e acrescidas de sufixos quando necessário, conforme a Tabela 28.

Tabela 28-Designação dos Tipos de Cimento Portland

<b>Designação normatizada (tipo)</b>	<b>Subtipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe de Resistência</b>	<b>Sufixo</b>
<b>Cimento Portland comum</b>	Sem adição	CP I		
	Com adição	CP I-S		
<b>Cimento Portland composto</b>	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F	25,32 OU 40 <sup>c</sup>	
	Com material pozolânico	CP II-Z		RS <sup>a</sup>
<b>Cimento Portland de alto-forno</b>		CP III		ou BC
<b>Cimento Portland pozolânico</b>		CP IV		b
<b>Cimento Portland de alta resistência inicial</b>		CP V	ARI <sup>d</sup>	
<b>Cimento Portland branco</b>	Estrutural	CPB	25,32 ou 40 <sup>c</sup>	
	Não estrutural	CPB	-	-

<sup>a</sup> O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para o seu tipo e classes originais

<sup>b</sup> O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda os requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para o seu tipo e classes originais.

<sup>c</sup> As classes 25,32 e 40 representam os valores mínimo de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascal (Mpa), conforme o método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

<sup>d</sup> Cimento Portland de alta resistência inicial, CP C, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 Mpa, quando ensaiado de acordo com a ABNT 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte : ABNT (NBR 16697:2018), adaptado

Com relação aos resultados dos ensaios de resistência a compressão a Norma estabelece um controle estatístico, considerando uma hipótese a uma distribuição gaussiana, o qual assegura que os limites indicados na Tabela 29 possuem 97% de probabilidade, ou seja, a probabilidade do limite inferior e superior de não ser atingido é de 3%.

Tabela 29-Resistência à compressão dos tipos de Cimento Portland em função dos dias

<b>Tipo de Cimento</b>	<b>Classe de resistência</b>	<b>Resistência à compressão ( Mpa)</b>		
		<b>Limite inferior aos 7 dias</b>	<b>Limite inferior aos 28 dias</b>	<b>Limite superior aos 28 dias</b>
CP I	25	-	25	42
CP I-S				

<b>CP II-E</b>				
<b>CP II-F</b>	32	-	32	49
<b>CP II-Z</b>				
<b>CP III</b>				
<b>CP IV</b>	40	-	40	-
<b>CPB Estrutural</b>				
<b>CP V</b>	ARI	34	-	-

Fonte : ABNT (NBR 16697:2018), adaptado

### 3.4.3.1 Cimento Portland e outros materiais em pó- Determinação da massa específica (NBR NM 23: 2000)

Para determinar a massa específica do Cimento Portland é dado por meio do frasco volumétrico de Le Chateie. O procedimento (Figura 18) consistiu em encher o frasco com auxílio de um funil longo com querosene, o qual é um líquido que não reage quimicamente com o cimento e possui uma densidade de  $0,800 \text{ g/cm}^3$  a  $15^\circ$ . O líquido disposto entre as marcas a zero e  $1 \text{ cm}^3$ . O frasco foi colocado dentro de um banho de água, mantido submerso durante 30 minutos a fim de equalizar a temperaturas dos líquidos, logo após registrar a leitura (V1).

Figura 18- Procedimento do ensaio de massa específica do cimento



Fonte: A autora



Foi tomada uma amostra de Cimento Portland conhecida a fim de provocar um deslizamento do líquido no intervalo entre as marcas de 18 cm<sup>3</sup> e 24 cm<sup>3</sup> do frasco. Essa amostra foi introduzida no frasco em pequenas porções através de um funil de haste curta. As devidas precauções foram tomadas a fim de evitar que a amostra de cimento ficasse aderida nas partes internas do frasco.

O frasco foi tampado e girado em uma posição inclinada até que todas as bolhas de ar parassem de subir junto à superfície do líquido. E por fim foi registrada a leitura final (V2).

O cálculo da massa específica do material é dada através da fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Onde:

$\rho$ , é a massa específica do material ensaiado, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ , é a massa do material ensaiado, em gramas;

$V$ , é o volume deslocado pela massa do material ensaiado ( $V2' - V1'$ ), em centímetros cúbicos;

$V1'$  e  $V2'$ , são os valores corrigidos de  $V1$  e  $V2$ , respectivamente, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico, em centímetros cúbicos.

O resultado foi à média de pelo menos duas determinações que não difiram entre si em mais do que 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

### **3.5 Determinação da dosagem do concreto**

#### **3.5.1 Concreto de Cimento Portland- Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimentos (NBR 12655:2015)**

A resistência de dosagem deve atender as condições de variabilidade decorrentes de cada construção, sendo assim essa variabilidade é medida pelo desvio padrão  $S_d$ , o qual é levada em consideração nos cálculos da resistência de dosagem na NBR 12655 (ABNT, 2015). O cálculo é realizado através da fórmula abaixo:

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times S_d$$

Onde:

$F_{cmj}$  é a resistência média do concreto a compressão, prevista para a idade de  $j$  dias, expressa em megapascal (Mpa);

$F_{ckj}$  é a resistência característica do concreto a compressão, aos  $j$  dias, expressa em megapascal (Mpa);

$S_d$  é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascal (Mpa);

Para determinar a resistência de dosagem deve ser levado em consideração a condição de preparo do concreto, onde são definidas na Tabela 30.

Tabela 30- Condição de preparo do concreto

<b>Condição de preparo do concreto</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Tipo de dosagem</b>	<b>Desvio Padrão (Mpa)</b>
<b>A</b>	Todas as classes de concreto	O cimento e o agregado são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados	4,0
<b>B</b>	Podem ser aplicadas as classe C10 a C20	O cimento é medido em massa, a água é medida em volume medida em um dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinado com volume	5,5
<b>C</b>	Podem ser aplicadas apenas aos concretos de classe C10 e C15	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e sua quantidade é corrigida em função da estimativa de umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto	7,0

Fonte :ABNT (NBR 12655:2015), adaptado

É necessário um controle estatístico do concreto, onde foram realizados 6 corpos de provas para cada traço em questão em função dos dias de rompimento, onde de acordo com a NBR 12655 (ABNT,2015) para os lotes com 6 exemplares o valor estimado da resistência característica a compressão estimada ( $f_{ck,est}$ ) é dado por:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

Onde:

m é igual a n/2. Despreza-se o valor mais alto de n, se for ímpar;

f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>,...f<sub>m</sub> são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente;

Vale ressaltar que não se pode tomar para f<sub>ck</sub>, este valor menor que  $\psi_6 \cdot f_1$ , onde os valores para  $\psi_6$  estão dispostos na Tabela 31.

Tabela 31- Valores de  $\psi_6$  em função da condição de preparo e o número de exemplares

Condição de preparo	Número de exemplares ( $\eta$ )										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	$\geq 16$
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,94	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

**NOTA: Os valores de  $\eta$  entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais**

Fonte :ABNT (NBR 12655:2015), adaptado

### 3.5.2 Método ABCP

Para determinar a dosagem do concreto, ou seja o seu traço, foi utilizado o Método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).O método consiste em um método experimental, que visa fornecer uma primeira aproximação da quantidade de materiais em um traço de concreto, ou seja, a ideia se utilizar esse método é ter um traço-base, e que podem posteriormente serem ajustados em suas dosagens.

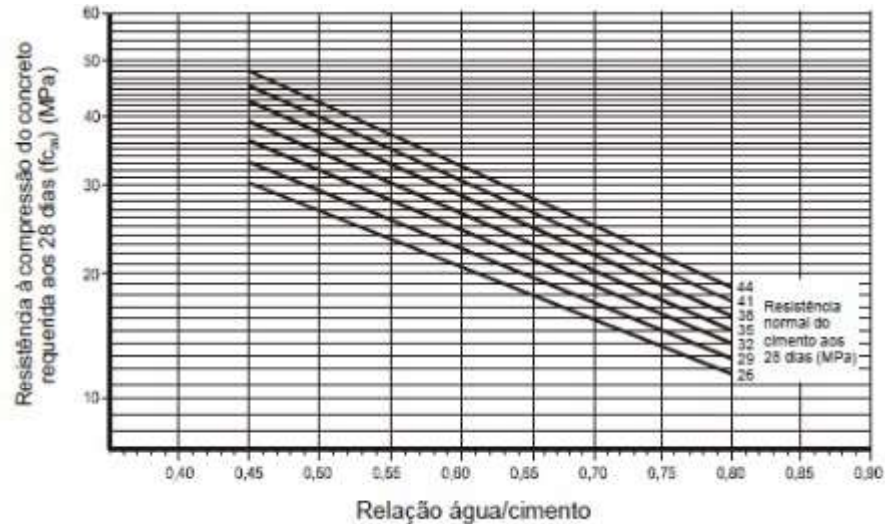
Para se utilizar o método foi necessário o conhecimento das seguintes informações:

- Tipo, massa específica e nível de resistência desejada aos 28 dias do cimento;
- Massa específica e módulo de finura do agregado miúdo;
- Massa unitária compactada, massa específica e dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- Consistência desejada concreto fresco;
- Resistência de dosagem do concreto (F<sub>cj</sub>);

O método consiste em inicialmente escolher a resistência do concreto (f<sub>ckj</sub>) desejado, da qual deverá ser majorado com o intuito da obtenção da resistência a compressão (F<sub>cmj</sub>) aos 28 dias.

Para a fixação da relação água/cimento se utiliza a Curva de Abrams, o qual é caracterizada como uma formação de curva de correlação do fator água/cimento (a/c) em função da dada resistência a compressão do concreto em 28 dia (Figura 19).

Figura 19- Curva de Abrams



Fonte: Rodrigues,1998

A determinação do consumo aproximado de água do concreto (Ca) está em função da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do abatimento desejado (Tabela 32).

Tabela 32- Consumo de água aproximada

Consumo de água aproximada (l/m <sup>3</sup> )					
Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
<b>40 a 60</b>	220	195	190	185	180
<b>60 a 80</b>	225	200	195	190	185
<b>80 a 100</b>	230	205	200	195	190

Fonte: ABCP

O cálculo do consumo de cimento (Cc) é a relação entre o consumo de água e a relação água/cimento. Dado pela formula:

$$C_c = \frac{C_{\text{água}}}{a/c}$$

Onde:

$C_c$  é o consumo de cimento, expresso em quilograma pro metro cubico ( $Kg/m^3$ );

$C_a$  é o consumo de água aproximado, expresso em litros por metro cubico ( $l/m^3$ );

$a/c$  é a relação água/cimento;

Para o agregado graúdo, o seu consumo ( $C_p$ ) depende de seu modulo de finura do agregado miúdo e dimensão máxima característica do agregado graúdo para dar entrada na Tabela 33 afim de encontrar o volume do agregado graúdo seco ( $V_{pc}$ ) e a massa unitária do agregado compactado ( $\rho_{com}$ ), através da formula:

$$C_p = V_{pc} \times \rho_{com}$$

Onde:

$C_p$  é o consumo do agregado graúdo, expresso em quilogramas por metro cubico ( $Kg/m^3$ );

$V_{pc}$  é o volume de agregado graúdo seco, expresso em metro cubico de concreto ( $m^3$ );

$\rho_{com}$  é a massa unitária do agregado graúdo compactado, expresso em quilogramas por metro cubico ( $Kg/m^3$ );

Tabela 33-Volume do agregado graúdo seco

MF	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: ABCP

O volume do agregado miúdo ( $V_m$ ) é obtido através da formula:

$$V_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\mu_c} + \frac{C_p}{\mu_p} + \frac{C_a}{\mu_a} \right)$$

Onde:

$V_m$  é o volume do agregado miúdo, expresso em metro cúbico ( $m^3$ );

$\mu_c$  é a massa específica do cimento, expresso em quilograma pro metro cúbico ( $Kg/m^3$ );

$\mu_p$  é a massa específica do agregado graúdo, expresso em quilograma pro metro cúbico ( $Kg/m^3$ );

$\mu_a$  é a massa específica da água, expresso em quilograma pro metro cúbico ( $Kg/m^3$ )

O consumo de agregado miúdo ( $C_m$ ) é obtido por meio do produto entre o seu volume e a massa específica desse agregado, através da fórmula:

$$C_m = V_m \times \mu_m$$

A apresentação do traço em função do consumo é dada da seguinte maneira:

$$C_c : C_m : C_p : C_a$$

Para encontrar o traço em massa final a fórmula necessária é dada por:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_p}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

### 3.5.3 Concreto- Preparação de concretos em laboratório (NBR NM 79:1996)

O concreto fresco pode ser preparado pela mistura manual ou mecânica dos componentes, onde no estudo de caso em questão o concreto foi misturado em uma máquina com tambor rotativo, denominada betoneiras.

Existe um passo a passo que dever ser executado, afim da disposição dos materiais no equipamento. O equipamento deve ser ligado, e colocado o agregado graúdo com um terço da quantidade de água necessária para o traço do concreto. Deixar a mistura batendo em torno de 3 minutos e logo colocar a quantidade de cimento determinada com mais um terço da água, deixando o mesmo mais 3 minutos misturando no equipamento. Por fim incluir o agregado miúdo e o restante da água, deixando mais 3 minutos a betoneira girando.

Após esse processo realizado é necessário verificar a consistência do concreto pelo método do abatimento do tronco de cone (NBR NM 67/1998).

### 3.5.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67: 1998)

Segundo Petrucci (1987 apud RODOLPHO, 2007) , o ensaio de abatimento significa medir a diferença entre a altura do molde tronco-cônico e o concreto após a sua remoção do molde, onde essa diferença se denomina abatimento, sendo medida a consistência do concreto.

Para realizar o procedimento, primeiramente é necessário escolher um abatimento para o concreto em questão, onde foi escolhido um abatimento de  $80 \pm 10$  mm.

O procedimento consiste em umedecer um molde cônico oco, com dimensões normatizadas, encher o mesmo em um terço de sua capacidade com o concreto dando 25 golpes com uma haste de adensamento, repetindo o procedimento até que o molde fosse todo preenchido com o material, onde a camada superior foi rasada com uma desempenadeira. Posteriormente o molde é retirado cuidadosamente na vertical e é medido a diferença de altura do molde e altura e altura do concreto, onde o mesmo estará adequado se estiver no abatimento escolhido (Figura 20)

Figura 20-Procedimento da execução de concreto



Fonte : A autora

Caso o abatimento não chegue ao solicitado é necessário corrigir o traço de concreto, até que o abatimento ocorra, onde existe alguns critérios para a correção em função de como está a sua mistura, sendo elas:

- Nas situações onde a água prevista for insuficiente para se obter o abatimento especificado, deverão ser aumentadas as quantidades de água e cimento, desde que mantida a relação água/cimento e o teor de argamassa, e diminuir a relação agregado total (m) do traço.
- Quando a quantidade de água prevista for à necessária para alcançar o abatimento necessário, mas a mistura apresentar-se pouca argamassada, deve-se acrescentar areia e diminuir a quantidade de brita, de tal forma a manter-se constante a relação de agregado total (m) da mistura.
- Para as situações onde a mistura apresenta excesso de argamassa, deve-se acrescentar agregado graúdo, além de quantidades proporcionais de água e cimento.
- Para casos onde a água estimada for maior que a necessária para se atingir o abatimento, recomenda-se aumentar as quantidades de areia e brita, mantendo-se constantes a relação água/cimento e o teor de argamassa adotado para a mistura.

### 3.5.5 Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (NBR 5738:2016)

Os corpos de prova utilizados estão seguindo os parâmetros exigíveis na ABNT NBR 5738, o qual dita que a altura do mesmo deve ser igual ao dobro do diâmetro, onde no estudo em questão foram utilizados corpos de provas de 10 cm de diâmetro, com uma altura de 20 cm. Os moldes são abertos em seu extremo superior o qual permite uma fácil desmontagem. Antes de proceder ao enchimento dos moldes de concreto, o mesmo teve sua base e laterais revestidas internamente com uma camada de óleo lubrificante que não reage com o concreto em questão. Após a lubrificação os corpos de prova poderão ser preenchidos com concreto em função do número de camadas em função do número de golpes com a haste de adensamento manual disposta na Tabela 34.



Tabela 34-Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
<b>Cilíndrico</b>	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
<b>Prismático</b>	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 <sup>b</sup>	3	-	-

<sup>b</sup> No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico

Fonte :ABNT (NBR 5738:2016), adaptado

De acordo com a Tabela foi necessário para os corpos de prova cilíndricos 2 camadas em função de o adensamento ser manual, onde foram realizados 12 golpes por camada para o adensamento manual .

O adensamento manual contou com os golpes distribuídos uniformemente em toda a seção do molde, sendo adensadas as camadas em toda a sua espessura. A ultima camada foi moldado com uma quantidade em excesso de concreto de forma que fosse adensada completando todo o volume do molde. Após a moldagem de todos os corpos de prova os mesmo foram submetidos a uma cura inicial de 24 horas (Figura 21).

Figura 21-Cura inicial dos corpos de provas



Fonte : A autora

Após o cumprimento da cura inicial, os corpos de provas foram desmoldados, identificados e submetidos a uma cura úmida dentro de um tanque de água (Figura 22), até o momento do ensaio a compressão desses corpos de prova, o qual são retirados no tanque e imediatamente realizado o ensaio disposto na NBR 5739/2018.

Figura 22-Cura úmida dos corpos de prova



Fonte : A autora

### 3.5.6 Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (NBR 5739:2018)

A NBR 5739:2018 veio para especificar o método de ensaio para se determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Os corpos de provas foram rompidos na idade de 14 dias e 28 dias seguindo a Tabela 35 o qual demonstra a tolerância de tempo para o seu rompimento, onde a idade nesse caso foi contada a partir do momento da modelagem.

Tabela 35-Tolerância de tempo para o rompimento

<b>Idade de ensaio</b>	<b>Tolerância permitida (h)</b>
24 horas	0,5
3 dias	2
7 dias	6
28 dias	24
63 dias	36
91 dias	48

NOTA: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.

Fonte :ABNT (NBR 5738:2018), adaptado

Conforme o disposto na Tabela foi necessário realizar uma interpolação dos valores, o qual para a idade de ensaio de 14 dias a tolerância permitida foi de 12 horas. E para o caso da idade de 28 dias a tolerância foi de 24 horas.

Antes de iniciar o ensaio todas as faces dos corpos de prova foram secas e limpas, e posteriormente cada corpo de prova um a um foi centralizado no prato inferior.

O carregamento do ensaio foi aplicado continuamente sem choques, com uma velocidade de carregamento mantida constante, onde o carregamento foi cessado a partir do momento que houve uma queda de força o qual indicou a ruptura.

O calculo da resistência à compressão foi calculada através da formula:

$$F_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde:

F<sub>c</sub> é a resistência à compressão, expressa em megapascals (Mpa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

Os corpos de prova foram classificados também em função do seu tipo de ruptura, de acordo com a Figura 23 abaixo:

Figura 23-Tipos de rompimentos dos corpos cilíndricos

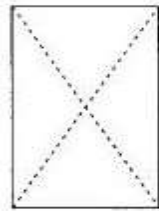


Figura A.1 – Tipo A – Cônica e cônica afastada 25 mm do capeamento

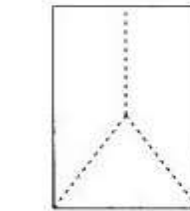


Figura A.2 – Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição

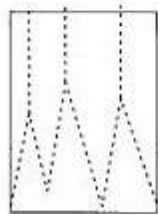
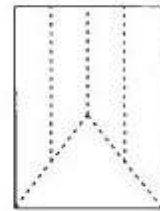


Figura A.3 – Tipo C – Colunar com formação de cones



Figura A.4 – Tipo D – Cônica e cisalhada

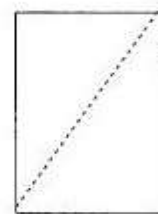


Figura A.5 – Tipo E Cisalhada



Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento

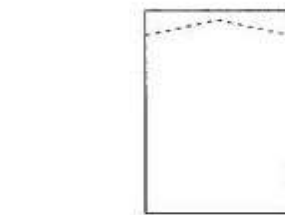


Figura A.7 – Tipo G – Similar ao tipo F com fraturas próximas ao topo

Fonte : ABNT (NBR 5738:2018)

A resistência à compressão de acordo com a NBR 6118:2014 pode ser evoluída com a idade, onde podem ser realizados ensaios que caracterizam esse principio, onde na ausência desses ensaios a norma dita à evolução esperada da resistência a compressão do concreto (Tabela 36) até que seja atingida a resistência definida no projeto aos 28 dias.

Tabela 36-Resistência à compressão em função do tipo de cimento em função dos dias

Tipo de Cimento	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
CP I / CP II	60%	78%	90%	96%	100%
CP III / CP IV	46%	68%	85%	94%	100%
CPV-ARI	66%	82%	92%	97%	100%

Fonte :ABNT (NBR 6118:2014), adaptado

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Agregado Graúdo Convencional

#### 4.1.1 Composição granulométrica

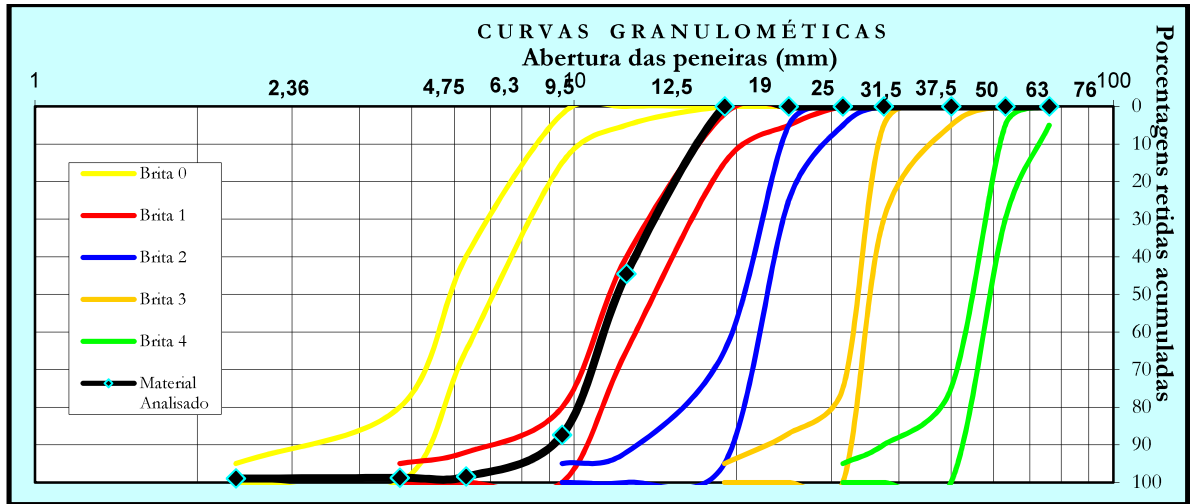
A composição granulométrica foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.3 onde a porcentagem retida em cada peneira, retida acumulada, modulo de finura e dimensão máxima está disposta na Tabela 37 e a curva granulométrica (Gráfico 5).

Tabela 37- Análise granulométrica agregado convencional

Abertura das Peneiras (mm)	(Mrg) Massa retida (gramas)		(Mr) Massa retida (Porcentagem)		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	Massa retida variação + 4 %	Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)
75	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2223,4	2229,6	44,5%	44,6%	0,1%	44,5%	44,5%
9,5	2137,7	2149,2	42,8%	43,0%	0,2%	42,9%	87,4%
6,3	550,4	554,0	11,0%	11,1%	0,1%	11,0%	98,5%
4,75	15,3	15,0	0,3%	0,3%	0,0%	0,3%	98,8%
2,36	9,6	10,3	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	99,0%
1,18	4,1	4,9	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,1%
0,6	6,3	7,1	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,2%
0,3	5,6	5,7	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,3%
0,15	8,9	9,0	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	99,5%
0,075	11,2	11,6	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	99,7%
Fundo	26,2	0,8	0,5%	0,0%	0,5%	0,3%	100,0%
<b>(Mt) Total</b>	<b>4.998,6</b>	<b>4.997,0</b>	<b>D. máx. = 19 mm</b>		<b>Módulo de Finura =</b>		<b>6,82</b>

Fonte: A autor

Gráfico 5- Curva granulométrica agregado convencional



Fonte: A autora

A Figura 24 demonstra o material encontrado em cada peneira em análise de uma das amostras de ensaio.

Figura 24-Agregado Convencional retido na peneira de 12,50 mm até o fundo



Fonte: A autora

#### 4.1.2 Massa unitária

A massa unitária foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.4, o qual foi possível encontrar a massa unitária no estado solto e compactado (Tabela 38).

Tabela 38- Massa unitária do Agregado Convencional

Massa unitária agregado convencional				
Volume do Recipiente (cm <sup>3</sup> )	Massa do Recipiente (Kg)	Tipo Brita	ENSAIO 1	
			Estado Brita	Estado Brita
19222	8750	1	Solto	Compactado
			M rec + M Amostra (kg)	M rec + M Amostra (kg)
			38600	38560
	Massa Unitária		<b>1,5529</b>	<b>1,5508</b>

Fonte: A autora

#### 4.1.3 Material passante na peneira 7575 µm ,por lavagem

O material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.5. O material fino que ficou disposto após a lavagem do material está demonstrado na Figura 25 e a amostra lavada que foi para a estufa (Figura 26).

Figura 25- Material convencional retido na peneira 1,18 mm e 75 µm



Fonte: A autora

Figura 26-Amostra convencional após lavagem



Fonte: A autora

Os resultados obtidos através no ensaio esta disposto na Tabela 39.

Tabela 39- Material passante na peneira 0,075 mm em Agregado Convencional

<b>Determinação do material fino que passa pela peneira 75 por lavagem-NBR NM46</b>			
<b>Ensaio 1.1</b>		<b>Ensaio1.2</b>	
Massa bacia (g)	187,51	Massa bacia (g)	178,38
<b>Massa seca inicial</b>	<b>Massa seca final</b>	<b>Massa seca inicial</b>	<b>Massa seca final</b>
<b>(Mi) (g)</b>	<b>(Mf) (g)</b>	<b>(Mi) (g)</b>	<b>(Mf) (g)</b>
2687,51	2683,48	2678,38	2674,34
<b>Porcentagem de Finos (%)</b>			
<b>0,1500</b>		<b>0,1508</b>	

Fonte: A autora

Conforme observado nos resultados, foi realizado a média aritmética das duas determinações (Tabela 40), onde a diferença obtida não foi maior que 5%, portanto o ensaio está dentro dos parâmetros estabelecidos.

Tabela 40-Verificação de parâmetros agregados convencionais

<b>Média:</b>	0,1504
<b>0,50%</b>	0,1511
<b>-0,50%</b>	0,1496

Fonte: A autora



#### 4.1.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção

O ensaio da massa específica, massa específica aparente e absorção foram realizados seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.6. Os resultados obtidos em cada tipo de massa estão na Tabela 41.

Tabela 41- Massas específicas agregados convencionais

<b>Massa Agregado Convencional (g)</b>	
Saturada com superfície seca (Ms)	2450,30
Em água (Ma)	1594,50
Seca em estufa (M)	2442,10

Fonte: A autora

Com essas massa obtidas foi possível realizar os cálculos de acordo com a norma (Tabela 42).

Tabela 42- Resultado ensaio NR 53 agregado convencional

<b>Resultado ensaio agregado convencional- NBR NM 53</b>	
Massa específica do agregado seco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,881
Massa específica do agrega na condição saturado superfície seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,863
Massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,854
Absorção de água (%)	0,336

Fonte: A autora

#### 4.1.5 Teor de Umidade Total

O ensaio para o teor de umidade foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.7 . Onde os resultados obtidos em cada amostra estão dispostos na Tabela 36.

Tabela 43- Resultado de massas específicas agregado convencional

<b>ENSAIO 1.1</b>				
<b>Massa recipiente (Kg)</b>	<b>Agregado em tempo ambiente</b>		<b>Agregado seco estufa</b>	
	<b>Mr+Ma (Kg)</b>	<b>Mamostra- Mi (Kg)</b>	<b>Mr+Ma (Kg)</b>	<b>Massa Final - Mf (kg)</b>
1,98	12,98	11	12,96	10,98
<b>Teor de Umidade</b>			0,18	

<b>ENSAIO 1.2</b>		
<b>Massa</b>	<b>Agregado em tempo ambiente</b>	<b>Agregado seco estufa</b>

recipiente (Kg)	Mr+Ma (Kg)	Mamostra- Mi (Kg)	Mr+Ma (Kg)	Massa Final - Mf (kg)
1,98	17,98	16	17,6	15,98
<b>Teor de Umidade</b>			0,13	

Fonte: A autora

#### 4.1.6 Índice de forma

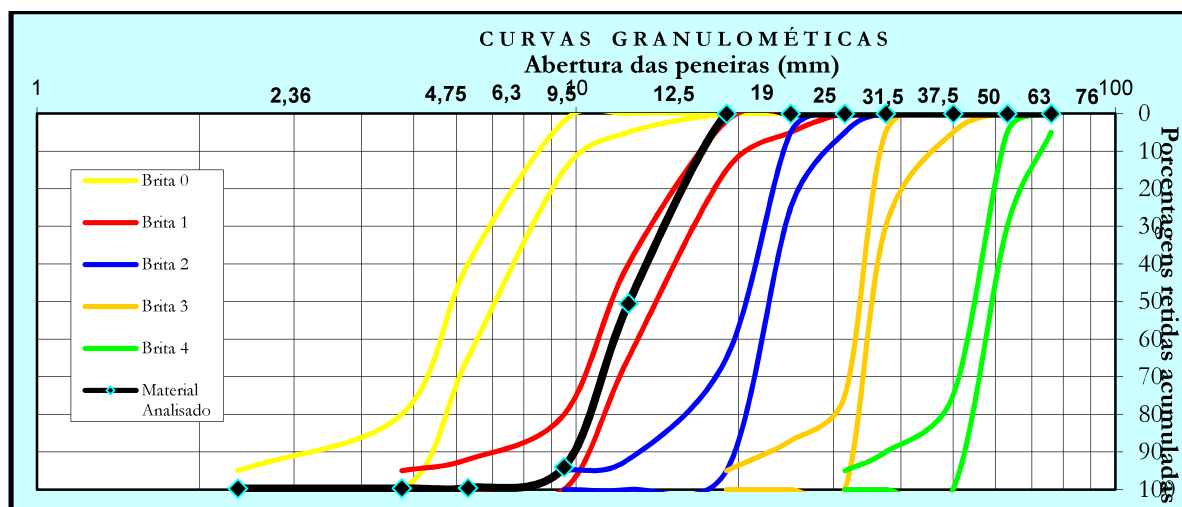
O ensaio de índice de forma foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.8. De acordo com a NBR 7808, depois que a amostra foi seca na estufa foi realizado a análise granulométrica da mesma (Tabela 44) ajunto de sua curva granulométrica (Gráfico 6 )

Tabela 44- Análise granulométrica agregado convencional para ensaio de paquímetro

Abertura das	(Mrg) Massa retida (gramas)		(Mr) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação + 4 %	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)
Peneiras (mm)	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
75	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2521,8	2521,8	50,5%	50,5%	0,0%	50,5%	50,5%
9,5	2174,9	2174,9	43,5%	43,5%	0,0%	43,5%	94,0%
6,3	278,3	278,3	5,6%	5,6%	0,0%	5,6%	99,6%
4,75	4,4	4,4	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,7%
2,36	1,5	1,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,7%
1,18	1,3	1,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,8%
0,6	1,2	1,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,8%
0,3	1,5	1,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,8%
0,15	2,2	2,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,9%
0,075	4,5	4,5	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,9%
Fundo	3,0	3,0	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	100,0%
<b>(Mt) Total</b>	<b>4.994,7</b>	<b>4.994,7</b>	<b>D. máx. = 19 mm</b>		<b>Módulo de Finura =</b>		<b>6,83</b>

Fonte: A autora

Gráfico 6- Curva granulométrica agregado convencional para NBR 7809



Fonte: A autora

A as frações utilizadas para se calcular o número de grãos necessários, foram às frações retidas na peneira de malha 12,5 mm (107 agregados medidos) e 9,5 mm (93 agregados medidos). Com as dimensões dos agregados encontradas foi possível relacionar o comprimento com a espessura de cada agregado (ANEXO A).

Com os resultados demonstrado na tabela acima se tornou possível encontrar o índice de forma da amostra que foi de 2,47.

## 4.2 Agregado Graúdo Reciclado

### 4.2.1 Composição granulométrica

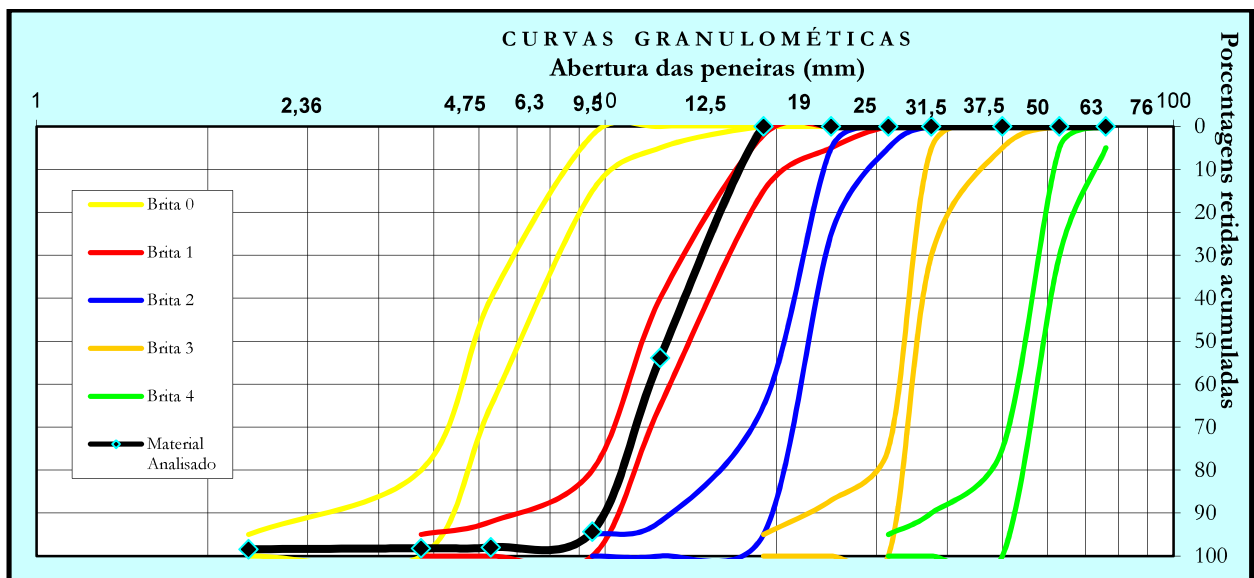
A composição granulométrica foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.3 onde a porcentagem retida em cada peneira, retida acumulada, modulo de finura e dimensão máxima está disposta na Tabela 45 e a curva granulométrica (Gráfico 7).

Tabela 45-Análise granulométrica agregado convencional

Abertura das Peneiras (mm)	(Mrg) Massa retida (gramas)		(Mr) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação + 4 %	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b			
75	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2653,8	2727,3	53,1%	54,6%	1,5%	53,8%	53,8%
9,5	1995,1	2048,0	39,9%	41,0%	1,1%	40,5%	94,3%
6,3	228,2	136,4	4,6%	2,7%	1,8%	3,6%	97,9%
4,75	14,0	9,5	0,3%	0,2%	0,1%	0,2%	98,2%
2,36	13,4	10,5	0,3%	0,2%	0,1%	0,2%	98,4%
1,18	6,8	5,0	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	98,5%
0,6	9,9	7,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	98,7%
0,3	18,1	12,7	0,4%	0,3%	0,1%	0,3%	99,0%
0,15	23,9	14,1	0,5%	0,3%	0,2%	0,4%	99,4%
0,075	26,3	15,8	0,5%	0,3%	0,1%	0,4%	99,8%
Fundo	7,3	11,1	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%	100,0%
<b>(Mt) Total</b>	<b>4.996,7</b>	<b>4.997,1</b>	<b>D. máx. 19 mm</b>		<b>Módulo de Finura =</b>		<b>6,87</b>

Fonte: A autora

Gráfico 7- Curva granulométrica agregado convencional



Fonte: A autora

A Figura 27 demonstra o material encontrado em cada peneira em análise de uma das amostras de ensaio.

Figura 27- Agregado Reciclado retido na peneira de 12 mm até o fundo



Fonte: A autora

#### 4.2.2 Massa unitária

A massa unitária foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.4, o qual foi possível encontrar a massa unitária no estado solto e compactado (Tabela 36).

Tabela 46 -Massa unitária agregado graúdo

Massa unitária agregado reciclado				
Volume do Recipiente (m <sup>3</sup> )	Massa do Recipiente (Kg)	Tipo Brita	ENSAIO 1	
			Estado Brita	Estado Brita
19220	8750	1	Solto	Compactado
			M rec + M Amostra (kg)	M rec + M Amostra (kg)
			33120	34180
	Massa Unitária		<b>1,2680</b>	<b>1,3231</b>

Fonte: A autora

#### 4.2.3 Material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem

O material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.5 . O material fino que ficou disposto após a lavagem do material está demonstrado na Figura 29 e a amostra lavada que foi para a estufa (Figura 28).

Figura 28- Material reciclado retido na peneira 1,18 mm e 75 µm



Fonte: A autora

Figura 29-Amostra Reciclada após lavagem



Fonte: A autora

Os resultados obtidos através no ensaio esta disposto na Tabela 47.

Tabela 47-Material passante na peneira 75 mm de agregado reciclado

<b>Determinação do material fino que passa pela peneira 75 por lavagem-NBRBM46</b>			
<b>Ensaio 1.0</b>		<b>Ensaio 1.1</b>	
<b>Massa bacia (g)</b>	<b>147,3</b>	<b>Massa bacia (g)</b>	<b>147,3</b>
<b>Massa seca inicial (Mi)</b>	<b>Massa seca final (Mf)</b>	<b>Massa seca inicial (Mi)</b>	<b>Massa seca final (Mf)</b>
<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>
2647,3	2589,53	2647,3	2589,34
<b>2,18</b>		<b>2,19</b>	

Fonte: A autora

Conforme observado nos resultados, foi realizado a média aritmética das duas determinações (Tabela 40), onde a diferença obtida não foi maior que 5%, portanto o ensaio está dentro dos parâmetros estabelecidos.

Tabela 48- Verificação de parâmetros de agregados reciclados

<b>Média:</b>	2,186
<b>0,50%</b>	2,197
<b>-0,50%</b>	2,175

Fonte: A autora

#### 4.2.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção

O ensaio da massa específica, massa específica aparente e absorção foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.7. O resultado obtido em cada tipo de massa está na Tabela 49.

Tabela 49-Massas específicas agregados reciclados

<b>Massa Agregado Reciclado (g)</b>	
<b>Saturada com superfície seca (Ms)</b>	2479,00
<b>Em água (Ma)</b>	1502,40
<b>Seca em estufa (M)</b>	2369,30

Fonte: A autora

Com essas massa obtidas foi possível realizar os cálculos de acordo com a norma (Tabela 50).

Tabela 50-Resultado ensaio NR-53 agregados reciclado

<b>Resultado ensaio agregado reciclado- NBR NM 53</b>	
Massa específica do agregado seco (g/cm <sup>3</sup> )	2,733
Massa específica do agrega na condição saturado superfície seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,538
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,426
Absorção de água (%)	4,630

Fonte: A autora

#### 4.2.5 Teor de umidade total

O ensaio para o teor de umidade foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.7. Onde os resultados obtidos em cada amostra estão dispostos na Tabela 51.

Tabela 51- Teor de umidade no agregado reciclado

<b>Ensaio 1.1</b>				
<b>Massa recipiente (Kg)</b>	<b>Agregado normal</b>		<b>Agregado seco estufa</b>	
	<b>Mr+Ma (kg)</b>	<b>Mamostra- Mi (Kg)</b>	<b>Mr+Ma (Kg)</b>	<b>Massa Final - Mf (Kg)</b>
1,98	12,98	11	12,82	10,84
<b>Teor de Umidade</b>			1,48	



<b>Ensaio 1.2</b>				
<b>Massa recipiente (Kg)</b>	<b>Agregado normal</b>		<b>Agregado seco estufa</b>	
	<b>Mr+Ma (kg)</b>	<b>Mamostra- Mi (Kg)</b>	<b>Mr+Ma (Kg)</b>	<b>Massa Final - Mf (Kg)</b>
1,98	17,98	16	17,74	15,76
<b>Teor de Umidade</b>			1,52	

Fonte: A autora

#### 4.2.6 Índice de forma

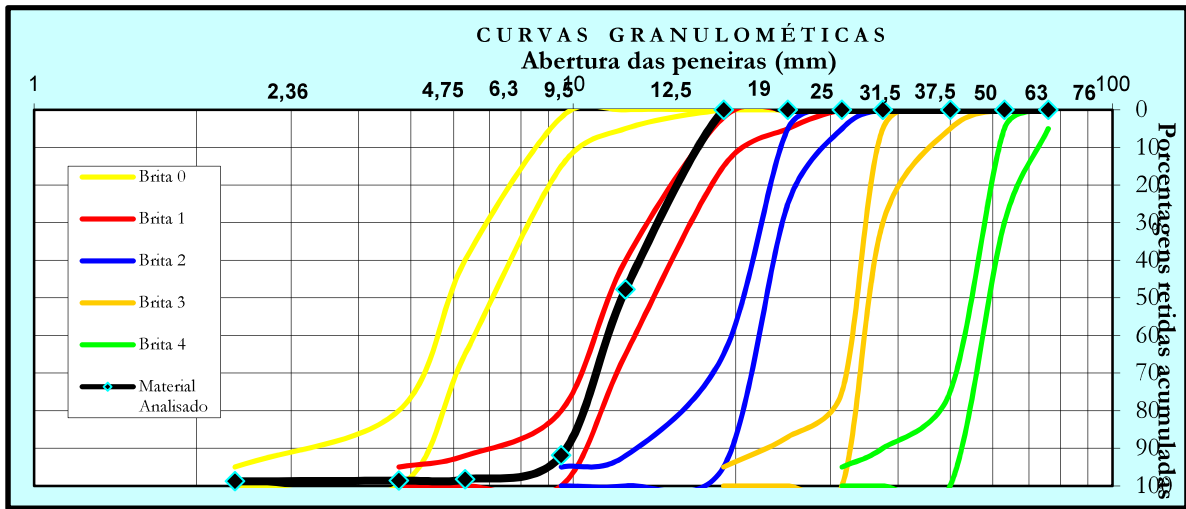
O ensaio de índice de forma foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.8. De acordo com a NBR 7808, depois que a amostra foi seca na estufa foi realizado a análise granulométrica da mesma (Tabela 52) ajunto de sua curva granulométrica (Gráfico 8)

Tabela 52-Análise granulométrica para ensaio de paquímetro

<b>Abertura das Peneiras (mm)</b>	<b>(Mrg) Massa retida (gramas)</b>		<b>(Mr) Massa retida (Porcentagem)</b>		<b>(Vr) Massa retida variação ± 4 %</b>	<b>(Mrm) Massa retida média (%)</b>	<b>(Mra) Massa retida acumulada (%)</b>
<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>	<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>				
75	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	2391,4	2391,4	47,8%	47,8%	0,0%	47,8%	47,8%
9,5	2205,2	2205,2	44,1%	44,1%	0,0%	44,1%	91,9%
6,3	319,8	319,8	6,4%	6,4%	0,0%	6,4%	98,3%
4,75	14,2	14,2	0,3%	0,3%	0,0%	0,3%	98,6%
2,36	10,0	10,0	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	98,8%
1,18	4,6	4,6	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	98,9%
0,6	6,1	6,1	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	99,0%
0,3	11,5	11,5	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%	99,3%
0,15	15,8	15,8	0,3%	0,3%	0,0%	0,3%	99,6%
0,075	16,0	16,0	0,3%	0,3%	0,0%	0,3%	99,9%
Fundo	5,4	5,4	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	100,0%
<b>(Mt) Total</b>	<b>4.999,9</b>	<b>4.999,9</b>	<b>D. máx.</b>	<b>19 mm</b>	<b>Módulo de Finura =</b>		<b>6,86</b>

Fonte: A autora

Gráfico 8-Curva granulométrica para ensaio de paquímetro



Fonte: A autora

A as frações utilizadas para se calcular o número de grãos necessários, foram às frações retidas na peneira de malha 12,5 mm (104 agregados medidos) e 9,5 mm (96 agregados medidos). Com as dimensões dos agregados encontradas foi possível relacionar o comprimento com a espessura de cada agregado (ANEXO B).

Com os resultados demonstrado na tabela acima se tornou possível encontrar o índice de forma da amostra que foi de 2,26.

### 4.3 Análise comparativa dos resultados dos agregados graúdos

#### 4.3.1 Composição granulométrica

A granulométrica conforme citado no decorrer do estudo é algo extremamente importante de se determinar, uma vez que ele influencia na característica do concreto que o utiliza. A composição da granulométrica varia em função de vários fatores, como o seu processo produtivo, beneficiamento, dentre outros. Onde a granulométrica ideal é aquela que atenda a finalidade para qual o concreto será destinado.

Com o ensaio de caracterização granulométrica dos agregados graúdo convencional e o reciclado foram possíveis verificar que os dois materiais se enquadraram na mesma dimensão máxima característica (19 mm). Quando se observou a curva granulométrica do agregado reciclado foi visto que o mesmo apresentou-se bem contínuo, o qual de acordo com Leite (2001) é algo bastante positivo, pois demonstra um melhor arranjo das partículas.

Para Cordeiro (2013) o módulo de finura nos agregados reciclados se mostra geralmente mais finos que os agregados convencionais, sendo verificada essa característica nos resultados obtidos nos ensaios, onde o agregado reciclado apresentou-se um módulo de finura de 6,87, sendo superior ao convencional em torno de 0,75%. Podendo ser observado que o mesmo resultado foi encontrado por Jacques (2013) em seus estudos e análises.

#### 4.3.2 Massa unitária

De acordo com Coutinho (2000 apud CORDEIRO, 2013) quanto maior for à massa unitária melhor é o desempenho do agregado.

Com os ensaios realizados foi observado que a massa unitária no estado solto do agregado convencional ficou muito próximo da massa unitária no estado compactado, num valor de 1,55 Kg/dm<sup>3</sup>. A massa unitária no estado do agregado reciclado foi dada em 1,27 Kg/dm<sup>3</sup> e no estado compactado de 1,32 Kg/dm<sup>3</sup>.

Quando se compara os resultados obtidos pelas bibliografias citadas no referencial bibliográfico é observado que a massa unitária dos agregados reciclados foi bastante variável, ficando entre 1,12 Kg/dm<sup>3</sup> a 1,46 Kg/dm<sup>3</sup>. Observando então que o resultado encontrado no ensaio está dentro dos parâmetros demonstrados.

Com os resultados obtidos é possível observar que o agregado reciclado é mais leve que o convencional, como cita Cordeiro (2013). Esse resultado se deve ao fato da porosidade de desse material, sendo assim o agregado reciclado apresentam um consumo maior de cimento quando comparado dos os agregados convencionais.

#### 4.3.3 Material fino passante na peneira 75 µm, por lavagem

Para Cordeiro (2013) a porcentagem de finos presentes nos agregados influenciam na aderência da pasta de cimento com o agregado, onde quanto maior for à porcentagem de finos menor será a aderência entre a pasta.

Muitos estudiosos no assunto relatam que quando a porcentagem de finos é controlada resulta-se em uma mistura de concreto com um melhor ajuntamento das partículas, ajudando na compactação e no fechamento de vazios, entretanto quando esse material está presente em excesso podem provocar fissurações na argamassa, diminuição da resistência à compressão do concreto, dentre outros.

Tenório (2007), afirma que os agregados reciclados tentem a possuir uma quantidade superior de finos quando comparados com os agregados convencionais.

Através do ensaio realizado para encontrar a porcentagem de finos passante na peneira 75  $\mu\text{m}$ , teve como resultado os agregados convencionais de 0,15 % de finos, já os agregados reciclados resultaram em 2,20% de finos.

Podendo então ser comprovado o resultado encontrado por Tenório (2007), onde esse resultado pode se dar ao fato dos agregados reciclados possuírem uma quantidade de argamassa aderida em suas partículas elevada em comparação dos agregados convencionais.

#### 4.3.4 Massa específica, massa específica aparente e absorção.

De acordo com Panka e Machoski (2011) a massa específica é um parâmetro importante para dosar o concreto quando o cálculo está sendo realizado em massa, onde quando o material possui uma massa específica menor apresentará um maior volume de material para o mesmo traço em massa.

Em seus estudos Tenório (2007) verificou que a massa específica do agregado reciclado é variável em função da porosidade do mesmo, existindo uma relação inversamente proporcional entre si, ou seja, quanto maior for a absorção de água no agregado menor será a sua massa específica.

Na maioria dos casos os agregados reciclados apresentam uma massa específica inferior aos agregados convencionais, devido à quantidade de argamassa aderida em suas partículas.

Os resultados obtidos por diferentes autores são bastante variáveis, onde pode ser observado que a massa específica das partículas é superiores nas frações granulométricas de maiores dimensões. A massa específica do agregado reciclado através do levantamento bibliográfico citado no referencial teórico esteve entre 2,30  $\text{Kg}/\text{dm}^3$  e 2,60  $\text{Kg}/\text{dm}^3$ .

Com os ensaios realizados foi verificado que a massa específica do agregado convencional no estado seco, saturado superfície seca e aparente resultaram em 2,88  $\text{Kg}/\text{dm}^3$ ; 2,86  $\text{Kg}/\text{dm}^3$  e 2,85  $\text{Kg}/\text{dm}^3$ . Podendo ser observado que os valores ficaram bem próximos um dos outros.

Com relação ao ensaio realizado no agregado reciclado as massas específicas ficaram bem variadas, onde a massa específica do agregado seco foi de 2,73  $\text{Kg}/\text{dm}^3$ , a massa no estado saturada superfície seca de 2,54  $\text{Kg}/\text{dm}^3$  e a massa aparente resultando em 2,43  $\text{Kg}/\text{dm}^3$ .

É possível observar com os resultados que a massa específica dos agregados reciclados é inferior aos agregados convencionais, sendo assim caso o agregado reciclado seja utilizado em concretos, a quantidade de desse material deverá ser levado em consideração um volume maior desse agregado quando forem tomar massas iguais de agregados convencionais (TENORIO, 2007).

A determinação da taxa de absorção é importante uma vez que através dela é possível determinar o percentual de água que deve ser suprido no agregado reciclado antes de ser utilizado no concreto (MOLIN et al., 2004). Pois como o agregado reciclado é mais poroso a sua taxa de absorção é elevada.

Com relação à porcentagem de absorção desses agregados foi encontrado para o agregado convencional de 0,30% e para os agregados reciclados um valor de 4,63% de absorção, verificando então que a taxa de absorção do agregado reciclado é quase 1400% acima da porcentagem em comparação ao agregado convencional.

É possível observar com os resultados que o agregado reciclado se enquadrou ao estudo de Ley et al.,( 2016 apud KRUGER et al., 2017) que levou em consideração mais de 286 publicações que comprovaram a maior absorção dos agregados reciclados.

Sendo assim conhecendo a absorção dos agregados é possível obter um concreto com uma melhor trabalhabilidade, uma vez que há possibilidade de se mexer na relação água/cimento da mistura, onde muitos autores recomendam a pré-molhagem desse material para compensar na absorção.

#### 4.3.5 Teor de umidade total

A determinação do teor de umidade total, por secagem, nos agregados através do método de ensaio, ficou mais uma vez comprovado que os agregados reciclados absorvem mais água em comparação com os agregados convencionais. Os agregados convencionais em dois ensaios obtiveram um teor de umidade total de 0,15% e 0,18%, onde podemos considerar a média desses resultados como sendo 0,165%. Com relação aos agregados reciclados os valores encontrados foram de 1,48% e 1,52%, onde a média desses resultados foram de 1,5%. Se for comparar esses valores é observado que o agregado reciclado chegou a 910% acima do agregado convencional. Com esse resultado podemos comprovar pela segunda vez, que os agregados reciclados devem ser verificados sempre sua absorção para serem utilizados em concretos, uma vez que essa absorção está associado às dimensões das partículas e a

quantidade de argamassa aderida, o qual estão diretamente ligados a uma maior absorção de água.

#### 4.3.6 Índice de forma

Como já foi citada no decorrer do estudo a forma dos agregados em sua maioria das vezes está ligado ao sistema de britagem que o mesmo foi submetido, onde a forma e a textura desses agregados possuem influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto (CORDEIRO, 2013).

O agregado convencional obteve um índice de forma de 2,47 e o agregado reciclado um índice de 2,26, como na ABNT NBR 7211:2009 especifica que o índice de forma dos grãos para ao agregado ser utilizado em concreto não pode ser superior a 3, portanto tanto o agregado reciclado como o agregado convencional podem ser empregados na produção de concreto.

### 4.4 Agregados Miúdos

#### 4.4.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.3 onde a porcentagem retida em cada peneira, retida acumulada, modulo de finura e dimensão máxima está disposta na Tabela 53 da areia grossa. Com relação a areia média os resultados estão na Tabela 54 .

Tabela 53-Análise granulométrica do agregado miúdo grosso

<b>Abertura das</b>	<b>Mrg) Massa retida (gramas)</b>		<b>Mr%) Massa retida (Porcentagem)</b>		<b>(Vr) Massa retida</b>	<b>(Mrm) Massa retida</b>	<b>(Mra) Massa retida</b>
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>	<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>	<b>variação + 4 %</b>	<b>média (%)</b>	<b>acumulada (%)</b>
<b>75</b>	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>63</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>50</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>37,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>31,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>25</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

<b>19</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>12,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>9,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>6,3</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>4,75</b>	1,31	1,34	0,4%	0,4%	0,0%	0,4%	0,4%
<b>2,36</b>	6,36	6,20	2,1%	2,1%	0,1%	2,1%	2,5%
<b>1,18</b>	36,23	37,45	12,1%	12,5%	0,4%	12,3%	14,8%
<b>0,6</b>	118,27	117,00	39,4%	39,1%	0,4%	39,2%	54,1%
<b>0,3</b>	115,17	115,05	38,4%	38,4%	0,0%	38,4%	92,5%
<b>0,15</b>	21,42	20,38	7,1%	6,8%	0,3%	7,0%	99,4%
<b>0,075</b>	1,05	1,94	0,4%	0,6%	0,0%	0,5%	99,9%
<b>Fundo</b>	0,18	0,18	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	100,0%
<b>Mt Total</b>	<b>300,0</b>	<b>299,5</b>	<b>D. máx</b>	<b>2,36</b>	<b>Módulo de Finura</b>		<b>2,64</b>
				<b>mm</b>			

Fonte: A autora

Tabela 54- Análise granulométrica do agregado miúdo médio

<b>Abertura das</b>	<b>Mrg) Massa retida (gramas)</b>		<b>Mr%) Massa retida (Porcentagem)</b>		<b>(Vr) Massa retida</b>	<b>(Mrm) Massa retida</b>	<b>(Mra) Massa retida</b>
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>	<b>Ensaio a</b>	<b>Ensaio b</b>	<b>variação + 4 %</b>	<b>média (%)</b>	<b>acumulada (%)</b>
<b>75</b>	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>63</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>50</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>37,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>31,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>25</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>19</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>12,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>9,5</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>6,3</b>	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>4,75</b>	0,18	0,19	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%
<b>2,36</b>	3,69	3,73	1,2%	1,2%	0,0%	1,2%	1,3%
<b>1,18</b>	30,44	29,37	10,1%	9,8%	0,3%	10,0%	11,3%
<b>0,6</b>	138,93	138,85	46,3%	46,3%	0,1%	46,3%	57,5%
<b>0,3</b>	88,58	89,12	29,5%	29,7%	0,2%	29,6%	87,2%
<b>0,15</b>	30,51	30,72	10,2%	10,2%	0,1%	10,2%	97,4%
<b>0,075</b>	6,69	6,55	2,2%	2,2%	0,2%	2,2%	99,6%
<b>Fundo</b>	1,35	1,26	0,4%	0,4%	0,0%	0,4%	100,0%
<b>Mt) Total</b>	<b>300,4</b>	<b>299,8</b>	<b>D. máx.</b>	<b>4,36</b>	<b>Módulo de Finura</b>		<b>2,55</b>
				<b>mm</b>			

Fonte: A autora

#### 4.4.2 Massa unitária

A massa unitária foi realizada seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.1.4, o qual foi possível encontrar a massa unitária no estado solto e compactado do agregado miúdo grosso e do médio (Tabela 55).

Tabela 55-Massa unitária dos agregados miúdos

<b>MASSA UNITÁRIA - NM 45</b>							
Volume do Recipiente (cm <sup>3</sup> )	Massa do Recipiente (Kg)	Tipo Areia	ENSAIO 1		Tipo Areia	ENSAIO 2	
			Estado Areia			Estado Areia	
			Solto	Compactado		Solto	Compactado
19220	8720	Média	M rec + M Amostra (kg)	M rec + M Amostra (kg)	Grossa	M rec + M Amostra (kg)	M rec + M Amostra (kg)
			35800	36260		36300	37160
			<b>1,409</b>	<b>1,433</b>		<b>1,435</b>	<b>1,480</b>
			<b>Massa Unitária (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>				

Fonte: A autora

#### 4.4.3 Massa específica

O ensaio da massa específica dos agregados miúdos foi realizado seguindo os parâmetros dispostos no Item 3.4.2.5. , onde o resultado obtido esta na Tabela 56.

Tabela 56-Massa específica dos agregados miúdos

	<b>AREIA MÉDIA</b>	<b>AREIA GROSSA</b>
Leitura do Frasco Aferido (L)	391	394
	390	394,5
Média	390,5	394,25
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,62</b>	<b>2,57</b>

Fonte: A autora



#### 4.4.4 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.2.6 Onde os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 57.

Tabela 57- Absorção de água nos agregados miúdos

<b>Absorção de Água</b>			
<b>Tipo de Areia</b>	<b>Massa Inicial (Kg)</b>	<b>Massa Final (Kg)</b>	<b>Absorção (%)</b>
<b>Grossa</b>	1250	1250	<b>5,93</b>
<b>Média</b>	1180	1172	<b>6,66</b>

Fonte: A autora

### 4.5 Análise comparativa dos agregados miúdos

#### 4.5.1 Composição granulométrica

Através dos estudos em desenvolvimento é possível observar que a granulométrica do agregado, influência na característica do concreto, onde de acordo com Pinto (2000 apud Souza, 2005) quanto mais bem distribuída granulo metricamente a areia, melhor é o seu entrosamento com as partículas, o qual onde se predomina uma fração grossa em relação à fração fina é identificado um melhor grau de entrosamento, uma vez que a fração é suficiente para preencher os vazios localizados entre as partículas maiores ,tendo em consequência o aumento do ângulo de atrito.

Com o ensaio de caracterização granulométrica dos agregados do agregado miúdo, denominado areia média e grossa, foi possível verificar que os dois materiais se enquadraram na mesma dimensão máxima característica (3,60 mm). Quando se observou a curva granulométrica dos mesmos apresentou-se bem contínuo, o qual de acordo com Leite (2001) é algo bastante positivo, pois demonstra um melhor arranjo das partículas.

A areia média apresentou um módulo de finura de 2,55, e areia grossa por sua vez obteve 2,64. Pode ser observado que a areia média correspondeu a 96,60% ao modulo de finura da areia grossa.

O modulo de finura é um parâmetro importante de se observar e verificar, pois quando a areia apresenta uma grande quantidade de microfinos, ela influencia diretamente nas propriedades do concreto, o qual por sua vez exige uma maior quantidade de água, a fim de

garantir sua trabalhabilidade, deste modo reduzindo a resistência à compressão desse concreto (MORAIS; SOUZA; AMANCIO; BRITO, 2017).

#### 4.5.2 Massa unitária

A massa unitária para muitos estudiosos é dita como algo que determinar o desempenho do agregado, onde quanto maior for a sua massa unitária, melhor é caracterizado o mesmo.

Com os ensaios realizados foi possível observar que a massa unitária do no estado solto do agregado miúdo denominado areia média foi de 1,409 Kg/dm<sup>3</sup> e no seu estado compactado foi de 1,433 Kg/dm<sup>3</sup>. Observando uma variação do estado solto para o compactado de 1,67%.

O agregado miúdo denominado areia grossa por sua vez apresentou uma massa unitária em seu estado solto de 1,435 Kg/dm<sup>3</sup> e em seu estado compactado de 1,480 Kg/dm<sup>3</sup>. Ocorrendo uma variação do estado solto para o compactado de 3,04%.

Com os resultados acima é possível observar que a areia média é mais leve que a areia grossa, sendo devido ao fato da porosidade desse material, onde quanto maior for a porosidade apresentada maior será o consumo de cimento em um concreto.

#### 4.5.3 Massa específica

Como os concretos foram escolhidos para ser dosado em massa, o ensaio de massa específica dos materiais usados é de extrema importância, onde quanto maior for a massa específica do material menor será o volume do material para o mesmo traço em massa.

Após o ensaio realizado para caracterizar a massa específica dos agregados miúdos, foi encontrado para a areia média 2,62 g/cm<sup>3</sup> e a areia grossa de 2,57 g/cm<sup>3</sup>. Com esses resultados é certo de se esperar que o concreto que utilizará areia média terá um menor consumo desse agregado quando comparado com o concreto realizado com a areia grossa.

#### 4.5.4 Absorção de água

Com relação à porcentagem de absorção dos agregados miúdos, foi encontrado para a areia média um valor de 6,66% de absorção, e para areia grossa de 5,93%. Podendo ser verificado então que a taxa de absorção da areia média esteve em torno de 12% acima da

absorção da areia grossa. Quando se conhece a absorção dos agregados é possível possuir um concreto com uma melhor trabalhabilidade, o qual pode ser modificado a relação água/cimento.

## 4.6 Cimentos Portland

### 4.6.1 Massa específica

O ensaio de massa específica dos Cimentos Portland foi realizado seguindo os parâmetros disposto no Item 3.4.3.1. Onde os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 58.

Tabela 58-Massa específica dos tipos de Cimento Portland

<b>Tipo de Cimento</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
CP II	2,98
CP V	3,16

Fonte: A autora

### 4.6.2 Análise comparativa

Sabe-se que com o conhecimento da massa específica do cimento permite controlar os teores de escoria e pozolana na mistura do clínquer com o gesso, durante a fabricação do Cimento Portland de alto forno e pozolânico, servindo também para o cálculo de finura, e para o cálculo do desgaste de concretos e argamassas.

Devido à variação das massas específica dos cimentos, não existe uma norma que define os valores fixados, pois podem variar de 2,85 g/cm<sup>3</sup> a 3,20 g/cm<sup>3</sup>, onde a variação se deve aos componentes do clínquer obtido em cada região onde o cimento é fabricado.

Com relação à massa específica do Cimento Portland CII foi de 2,98 g/cm<sup>3</sup> e para o Cimento Portland CPV foi de 3,16 g/cm<sup>3</sup>. É possível observar que a massa específica dos tipos de cimento em estudo estão enquadrada na variação disposta acima.

## 4.7 Dosagens dos concretos

A finalidade da dosagem de um concreto é determinar as proporções dos materiais a empregar, de modo a se atender a condição de resistência desejada e a plasticidade suficiente do concreto fresco.

Existem diversos processos empíricos para se calcular a composição de materiais a se empregar na mistura, o qual é denominado traço (ANDOLFATO, 2002).

Para o estudo em questão foi se utilizado a condição de preparo do concreto do Tipo A, onde podem ser aplicados em todas as classes de concreto, que por sua vez todos os materiais foram medidos em massa, considerando um desvio padrão de 4 Mpa.

O objetivo da dosagem experimental é atingir uma resistência à compressão de 25 Mpa. Sendo assim, foram realizados 4 tipos de traços de concreto, onde foram alterados o cimento e o agregado miúdo, deixando fixo o agregado graúdo reciclado.

Os traços inicialmente serão determinados através do Método ABCP, disposto no Item 3.5.2, os quais afim de adquirir o abatimento do tronco de cone desejado, podem ou não ser reajustados chegando a um novo traço.

Para cada traço foram realizados 12 corpos de prova, onde metade deles foram rompidos aos 14 dias, e o restante aos 28 dias.

### 4.7.1 Dosagem 1

A dosagem denominada “Dosagem 1” foi executada com o Cimento Portland CPII, a areia média e o agregado graúdo reciclado. A dosagem inicial está disposta nas Tabelas 59, 60, 61 e 62.

Tabela 59-Dados dos materiais Dosagem 1

<b>Dosagem ABCP</b>				
<b>Agregados</b>				
<b>Areia Média</b>		<b>Brita Reciclada</b>		<b>Cimento</b>
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,55	DMC (mm)	19	CPII
$MF_{\text{areia}}$	2,57	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,32	
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,73	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) 2,98

Fonte: A autora

Tabela 60-Consumo inicial de materiais Dosagem 1

<b>Concreto</b>			
<b>Fck (MPa)</b>	25	<b>Fc28 (MPa)</b>	31,6
<b>Condição (A-B-C)</b>	A	<b>Abatimento (cm)</b>	8
<b>Desvio padrão</b>	4		
<b>Curva de Abrams</b>		<b>Consumo de água (quadro I) - l/m<sup>3</sup></b>	
<b>a/c</b>	0,5	200	
<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Volume de brita (Vb)</b>	0,695
<b>400,00</b>		<b>Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)</b>	917,4
<b>Volume de areia (Va)</b>	0,33		
<b>Consumo de areia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	840,81		

---

Fonte: A autora

Tabela 61-Consumo total de materiais Dosagem 1

<b>Consumo total</b>			
Cc	Ca	Cb	Cagua
400,00	840,81	917,40	200
<b>2358,21</b>			

---

Fonte: A autora

Tabela 62-Traço inicial Dosagem 1

<b>Traço em massa Inicial</b>			
1	2,10	2,29	0,5

---

Fonte: A autora

Após o primeiro traço ser executado na betoneira, e realizado o ensaio do tronco de cone, foi verificado que a água prevista foi insuficiente para obter o abatimento especificado, sendo assim foi necessário reajustar a quantidade de água e cimento, mantendo sempre a relação água/cimento, e diminuindo a relação do agregado graúdo, onde foram necessárias uma correção (Tabela 63) chegando então no traço final de **1: 1,83:2,09:0,5**.

Tabela 63-Correções Dosagem 1

Traço básico				Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Massa brita (kg)	Massa de brita a acrescentar	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição (l)	cimento - adição (kg)
c	a	p	a/c										
1	2,10	2,29	0,5	8,80	18,50	20,18	0,95	4,40	400,33	0,50	x	0,65	1,30
1	1,83	2,09	0,5	10,10	18,50	21,13	1,48	5,05	431,02	0,50	x	1	2,00

Fonte: A autora

#### 4.7.2 Dosagem 2

A dosagem denominada “Dosagem 2” foi executada com o Cimento Portland CPII, a areia grossa e o agregado graúdo reciclado. A dosagem inicial está disposta nas Tabelas 64, 65, 66 e 67.

Tabela 64-Dados dos materiais Dosagem 2

Dosagem ABCP				
Agregados				
Areia Grossa	Brita Reciclada		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,62	DMC (mm)	19	CPII
MF <sub>areia</sub>	2,64	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,32	
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,73	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) 2,98

Fonte: A autora

Tabela 65- Consumo inicial de materiais Dosagem 2

Concreto			
<b>Fck (MPa)</b>	25	<b>Fc28 (MPa)</b>	31,6
<b>Condição (A-B-C)</b>	A	<b>Abatimento (cm)</b>	8
<b>Desvio padrão</b>	4		
<b>Curva de Abrams</b>		<b>Consumo de água (quadro I) - l/m<sup>3</sup></b>	
a/c	0,5	200	
<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Volume de brita (Vb)</b>	0,686
<b>400,00</b>		<b>Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)</b>	905,52
<b>Volume de areia (Va)</b>	0,33		
<b>Consumo de areia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	875,29		

Fonte: A autora

Tabela 66-Consumo total de materiais Dosagem 2

Consumo total			
Cc	Ca	Cb	Cagua
400,00	875,29	905,52	200
<b>2380,81</b>			

Fonte: A autora

Tabela 67-Traço inicial Dosagem 2

Traço em massa final			
1	2,19	2,26	0,5

Fonte: A autora

Após o primeiro traço ser executado na betoneira, e realizado o ensaio do tronco de cone, foi verificado que a água prevista foi insuficiente para obter o abatimento especificado, sendo assim foi necessário reajustar a quantidade de água e cimento, mantendo sempre a relação água/cimento, e diminuindo a relação do agregado graúdo, onde foram necessárias três correções (Tabela 68) chegando então no traço final de **1: 1,50:1,77:0,5**.

Tabela 68- Correções Dosagem 2

Traço básico				Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Massa brita (kg)	Massa de brita a acrescentar	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição (l)	cimento - adição (kg)
c	a	p	a/c										
1	2,19	2,26	0,5	8,80	19,26	19,92	0,67	4,40	400,11	0,50	x	0,5	1,00
1	1,97	2,10	0,5	9,80	19,26	20,59	0,71	4,90	424,59	0,50	x	0,5	1,00
1	1,78	1,97	0,5	10,80	19,26	21,30	1,42	5,40	446,72	0,50	x	1	2,00
1	1,50	1,77	0,5	12,80	19,26	22,71	1,42	6,40	485,47	0,50	x	1	2,00

Fonte: A autora

#### 4.7.3 Dosagem 3

A dosagem denominada “Dosagem 3” foi executada com o Cimento Portland CPV, a areia média e o agregado graúdo reciclado. A dosagem inicial está disposta nas Tabelas 69, 70, 71 e 72.

Tabela 69-Dados dos materiais Dosagem 3

Dosagem ABCP					
Agregados					
Areia Média		Brita Reciclada		Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,55	DMC (mm)	19	CPV	
MF <sub>areia</sub>	2,57	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,32		
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,73	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	3,16

Fonte: A autora



Tabela 70- Consumo inicial de materiais Dosagem 3

<b>Concreto</b>			
<b>Fck (MPa)</b>	25	<b>Fc28 (MPa)</b>	31,6
<b>Condição (A-B-C)</b>	A	<b>Abatimento (cm)</b>	8
<b>Desvio padrão</b>	4		
<b>Curva de Abrams</b>		<b>Consumo de água (quadro I) - l/m<sup>3</sup></b>	
a/c	0,5	200	
<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Volume de brita (Vb)</b>	0,695
<b>400,00</b>		<b>Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)</b>	917,4
<b>Volume de areia (Va)</b>	0,34		
<b>Consumo de areia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	860,30		

---

Fonte: A autora

Tabela 71- Consumo total de materiais Dosagem 3

<b>Consumo total</b>			
Cc	Ca	Cb	Cagua
400,00	860,30	917,40	200
<b>2377,70</b>			

---

Fonte: A autora

Tabela 72- Traço inicial Dosagem 3

<b>Traço em massa final</b>			
1	2,15	2,29	0,5

---

Fonte: A autora

Após o primeiro traço ser executado na betoneira, e realizado o ensaio do tronco de cone, foi verificado que a água prevista foi insuficiente para obter o abatimento especificado, sendo assim foi necessário reajustar a quantidade de água e cimento, mantendo sempre a relação água/cimento, e diminuindo a relação do agregado graúdo, onde foram necessárias quatro correções (Tabela 73) chegando então no traço final de **1: 1,41:1,75:0,5** .

Tabela 73- Correções Dosagem 3

Traço básico				Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Massa brita (kg)	Massa de brita a acrescentar	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição (l)	cimento - adição (kg)
c	a	p	a/c										
1	2,15	2,29	0,5	8,80	18,93	20,18	1,43	4,40	400,25	0,50	x	1	2,00
1	1,75	2,00	0,5	10,80	18,93	21,61	0,73	5,40	447,05	0,50	x	0,5	1,00
1	1,60	1,89	0,5	11,80	18,93	22,34	0,73	5,90	467,49	0,50	x	0,5	1,00
1	1,48	1,80	0,5	12,80	18,93	23,07	0,44	6,40	486,25	0,50	x	0,3	0,60
1	1,41	1,75	0,5	13,40	18,93	23,50	1,16	6,70	496,79	0,50	x	0,8	1,60

Fonte: A autora

#### 4.7.4 Dosagem 4

A dosagem denominada “Dosagem 4” foi executada com o Cimento Portland CPV, a areia grossa e o agregado graúdo reciclado. A dosagem inicial está disposta nas Tabelas 74, 75, 76 e 77.

Tabela 74-Dados materiais Dosagem 4

Dosagem ABCP				
Agregados				
	Areia Grossa	Brita Reciclada	Cimento	
$\mu_{\text{areia}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,62	DMC (mm)	19	CPV
$M_{\text{Fareia}}$	2,64	$\rho_{\text{brita-compactada}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,32	
		$\mu_{\text{brita}}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	2,73	$\mu_{\text{cimento}}$ (kg/dm <sup>3</sup> ) 3,16

Fonte: A autora

Tabela 75-Consumo inicial de materiais Dosagem 4

<b>Concreto</b>			
<b>Fck (MPa)</b>	25	<b>Fc28 (MPa)</b>	31,6
<b>Condição (A-B-C)</b>	A	<b>Abatimento (cm)</b>	8
<b>Desvio padrão</b>	4		
	<b>Curva de Abrams</b>	<b>Consumo de água (quadro I) - l/m<sup>3</sup></b>	
a/c	0,5	200	
	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de brita (Vb)</b>	0,686
	<b>400,00</b>	<b>Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)</b>	905,52
	<b>Volume de areia (Va)</b>	0,34	
	<b>Consumo de areia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	895,32	

Fonte: A autora

Tabela 76-Consumo total de materiais Dosagem 4

<b>Consumo total</b>			
Cc	Ca	Cb	Cagua
400,00	895,32	905,52	200
<b>2400,84</b>			

Fonte: A autora

Tabela 77- Traço inicial Dosagem 4

<b>Traço em massa final</b>			
1	2,24	2,26	0,5

Fonte: A autora

Após o primeiro traço ser executado na betoneira, e realizado o ensaio do tronco de cone, foi verificado que a água prevista foi insuficiente para obter o abatimento especificado, sendo assim foi necessário reajustar a quantidade de água e cimento, mantendo sempre a relação água/cimento, e diminuindo a relação do agregado graúdo, onde foram necessárias duas correções (Tabela 78) chegando então no traço final de **1: 1,43:1,69:0,5**.

Tabela 78-Correções Dosagem 4

Traço básico				Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Massa brita (kg)	Massa de brita a acrescentar	água	Cc	a/c	Abatimento inicial	água-adição (l)	cimento - adição (kg)
c	a	p	a/c										
1	2,24	2,26	0,5	8,80	19,70	19,92	2,75	4,40	400,12	0,50	x	2	4,00
1	1,54	1,77	0,5	12,80	19,70	22,67	0,70	6,40	487,18	0,50	0	0,5	1,00
1	1,43	1,69	0,5	13,80	19,70	23,37	0,28	6,90	504,65	0,50	0	0,2	0,40

Fonte: A autora

## 4.8 Resistência a Compressão dos Concretos

### 4.8.1 Resistência com Cimento Portland CII

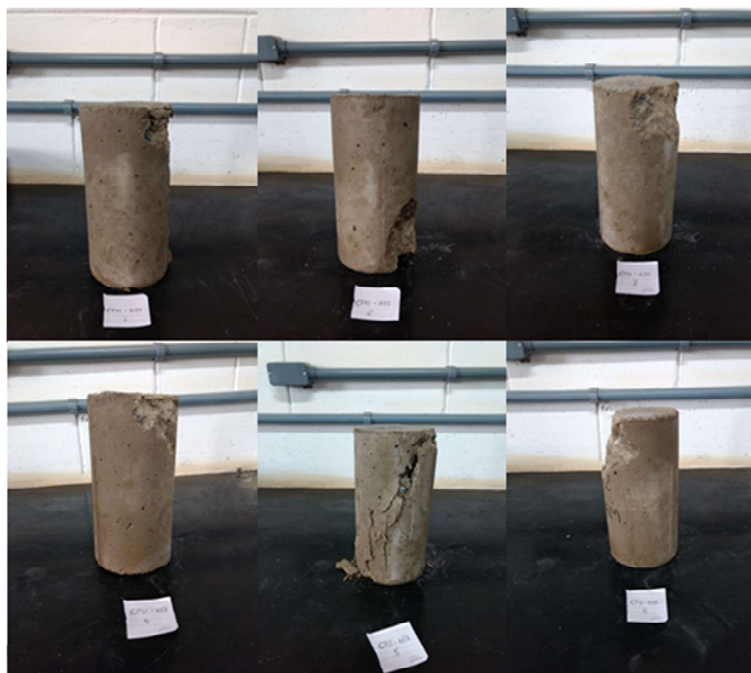
A resistência à compressão dos concretos aos 14 dias está disposta na Tabela 79, e nas Figuras 31 e 32 são possíveis observar os corpos de prova após o seu rompimento.

Tabela 79-Resistência aos 14 dias com CII

RESISTÊNCIA ADQUIRIDA AOS 14 DIAS COM CP II			
Tipo de Areia	Identificação	Tipo de rompimento	Resistência (Mpa)
Média	CII/AM-1	F	22,20
	CII/AM-2	F	22,14
	CII/AM-3	F	22,18
	CII/AM-4	F	23,61
	CII/AM-5	E	24,54
	CII/AM-6	F	23,80
Grossa	CII/AG-1	F	31,30
	CII/AG-2	E	31,52
	CII/AG-3	D	30,77
	CII/AG-4	D	31,68
	CII/AG-5	F	32,58
	CII/AG-6	D	32,31

Fonte: A autora

Figura 30-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CPII aos 14 dias



Fonte: A autora

Figura 31-Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPII aos 14 dias



Fonte: A autora

A resistência à compressão dos concretos aos 28 dias está disposta na Tabela 80, e nas Figuras 33 e 34 são possíveis observar os corpos de prova após o seu rompimento.

Tabela 80-Resistência aos 28 dias com CII

<b>RESISTÊNCIA ADQUIRIDA AOS 28 DIAS COM CP II</b>			
<b>Tipo de Areia</b>	<b>Identificação</b>	<b>Tipo de rompimento</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
<b>Média</b>	CPII/AM-7	F	24,92
	CPII/AM-8	F	28,94
	CPII/AM-9	B	28,07
	CPII/AM-10	F	25,76
	CPII/AM-11	F	25,88
	CPII/AM-12	F	24,93
<b>Grossa</b>	CPII/AG-7	F	35,00
	CPII/AG-8	F	34,42
	CPII/AG-9	F	36,87
	CPII/AG-10	F	33,54
	CPII/AG-11	F	35,17
	CPII/AG-12	F	35,31

Fonte: A autora

Figura 32-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CII aos 28 dias



Fonte: A autora

Figura 33- Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPII aos 28 dias



Fonte: A autora

#### 4.8.2 Resistência com Cimento Portland CPV

A resistência à compressão dos concretos aos 14 dias está disposta na Tabela 81, e nas Figuras 35 e 35 são possíveis observar os corpos de prova após o seu rompimento.

Tabela 81-Resistência aos 14 dias com CPV

<b>RESISTÊNCIA ADQUIRIDA AOS 14 DIAS COM CP V-ARI</b>			
<b>Tipo de Areia</b>	<b>Identificação</b>	<b>Tipo de rompimento</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
<b>Média</b>	CPV/AM-1	C	27,21
	CPV/AM-2	F	27,49
	CPV/AM-3	F	26,86
	CPV/AM-4	F	27,23
	CPV/AM-5	E	28,32
	CPV/AM-6	F	26,25
<b>Grossa</b>	CPV/AG-1	F	39,67
	CPV/AG-2	F	38,63
	CPV/AG-3	E	38,61
	CPV/AG-4	B	42,30
	CPV/AG-5	F	36,15
	CPV/AG-6	F	38,25

Fonte: A autora

Figura 34-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CPV aos 14 dias



Fonte: A autora

Figura 35- Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPV aos 14 dias



Fonte: A autora

A resistência à compressão dos concretos aos 28 dias está disposta na Tabela 82, e nas Figuras 37 e 38 são possíveis observar os corpos de prova após o seu rompimento.



Tabela 82-Resistência aos 28 dias com CPV

<b>RESISTÊNCIA ADQUIRIDA AOS 28 DIAS COM CP V-ARI</b>			
<b>Tipo de Areia</b>	<b>Identificação</b>	<b>Tipo de rompimento</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>
<b>Média</b>	CPV/AM-7	F	35,31
	CPV/AM-8	F	35,31
	CPV/AM-9	C	35,31
	CPV/AM-10	E	30,30
	CPV/AM-11	F	29,95
	CPV/AM-12	F	27,69
<b>Grossa</b>	CPV/AG-7	F	33,09
	CPV/AG-8	F	39,32
	CPV/AG-9	F	38,93
	CPV/AG-10	E	39,63
	CPV/AG-11	F	36,82
	CPV/AG-12	E	39,48

Fonte: A autora

Figura 36-Corpos de Provas rompidos com Areia Média e CPV aos 28 dias



Fonte: A autora

Figura 37-Corpos de Provas rompidos com Areia Grossa e CPV aos 28 dias



Fonte: A autora

#### 4.9 Análise do custo x benefício dos Concretos Dosados

Para uma melhor análise dos traços finais adquiridos em cada dosagem, foi realizado a Tabela 83 com os resumos das dosagens finais.

Tabela 83-Resumo das Dosagens Finais

DOSAGEM	TRAÇO FINAL			
	c	a	p	a/c
Dosagem 1	1,00	1,83	2,09	0,50
Dosagem 2	1,00	1,50	1,77	0,50
Dosagem 3	1,00	1,41	1,75	0,50
Dosagem 4	1,00	1,43	1,69	0,50

Fonte: A autora

É possível observar que os traços ficaram bem variados, uma vez que houve uma diversidade no tipo de cimento Portland empregado e do tipo de agregado miúdo, fixando apenas a relação água/cimento e o tipo de agregado graúdo.

Os concretos que foram utilizados o Cimento Portland CII-E foi verificado que há um maior consumo de agregados quando comparado com os que utilizaram o CPV-ARI. Foi realizando um levantamento do custo dos materiais utilizados no estudo em questão onde os dados estão dispostos na Tabela 84.

Tabela 84-Orçamento dos materiais

<b>CUSTO DOS MATERIAIS</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cimento Portland CII	50 Kg	17,50
Cimento Portland CPV	40 Kg	24,50
Areia Média	6 m <sup>3</sup>	300,00
Areia Grossa	6 m <sup>3</sup>	300,00
Brita 1 Reciclada	6 m <sup>3</sup>	300,00
Brita 1 Convencional	6 m <sup>3</sup>	430,00

Fonte: A autora

Para melhor compreensão e verificação de qual dosagem seria mais viável em relação ao seu custo de implantação, foi realizado um orçamento, com o intuito de obter o custo de cada traço para a realização de 1 m<sup>3</sup> de concreto. O custo de cada traço estão dispostas nas Tabelas 85, 86, 87 e 89.

Tabela 85-Custo da Dosagem 1

<b>Dosagem 1-Custo por m<sup>3</sup> de concreto</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantitativo (Kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cimento Portland CII	400	140,00
Areia Média	732	25,54
Brita 1 Reciclada	836	31,67
Água	200	0,52
<b>Preço Final</b>		<b>197,73</b>

Fonte: A autora

Tabela 86-Custo da Dosagem 2

<b>Dosagem 2-Custo por m<sup>3</sup> de concreto</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantitativo (Kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cimento Portland CII	400	140,00

Areia Grossa	600	20,27
Brita 1 Reciclada	708	26,82
Água	200	0,52
<b>Preço Final</b>		<b>187,61</b>

Fonte: A autora

Tabela 87-Custo da Dosagem 3

<b>Dosagem 3-Custo por m<sup>3</sup> de concreto</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantitativo (Kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cimento Portland CPV	400	245,00
Areia Média	564	19,68
Brita 1 Reciclada	700	26,52
Água	200	0,52
<b>Preço Final</b>		<b>291,71</b>

Fonte: A autora

Tabela 88-Custo da Dosagem 4

<b>Dosagem 4-Custo por m<sup>3</sup> de concreto</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantitativo (Kg)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Cimento Portland CPV	400	245,00
Areia Grossa	572	19,32
Brita 1 Reciclada	676	25,61
Água	200	0,52
<b>Preço Final</b>		<b>290,45</b>

Fonte: A autora

Através das Tabelas acima é possível observar que quando falamos do custo de 1 m<sup>3</sup> de concreto que utilizou o Cimento Portland CII-E, é observado que a Dosagem 2 foi mais econômica, que utilizou o agregado miúdo grosso (areia grossa), ocorrendo uma redução de custo em torno de R\$10,00. Com relação ao concreto que utilizou o Cimento Portland CPV-ARI, o custo das duas dosagens ficaram bem próximos.

Porem vale lembrar, que na Construção Civil, o importante não é apenas o custo de certo produto ou material, mas sim o seu custobenefício para sua implantação. Sendo assim na Tabela 89 estão dispostos dos resultados do ensaio a compressão dos concretos dosados.

Tabela 89-Resumo das Resistências à compressão das dosagens realizadas

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Idade de</b>	<b>Resistência</b>	<b>Resistência</b>
----------------	--------------	-----------------	--------------------	--------------------

<b>Utilizado</b>	<b>Utilizada</b>	<b>rompimento</b>	<b>Média( Mpa)</b>	<b>Característica Estimada (Mpa)</b>
<b>CP II</b>	Média	14 dias	23,08	22,11
	Grossa		31,69	30,55
	Média	28 dias	26,42	24,10
	Grossa		35,05	32,96
<b>CP V</b>	Média	14 dias	27,23	25,90
	Grossa		38,93	35,79
	Média	28 dias	32,31	27,34
	Grossa		37,88	30,98

Fonte: A autora

É possível observar com o comparativo que a resistência característica em todos os casos está com um valor estimado sempre abaixo dos valores de resistência média, devendo ao fato do mesmo estar sempre a favor da segurança.

Com relação às resistências adquiridas aos 14 dias é observado que a Dosagem 1 não obteve a resistência esperada quando consideramos a resistência característica estimada, uma vez que de acordo com a NBR 6118/2014 para os concretos que utilizarem o Cimento Portland CII a sua resistência aos 14 dias deve ser de 90% da resistência definida aos 28 dias, porém se formos considerar a média encontrada a dosagem está dentro dos padrões estabelecidos. As dosagens 2, 3 e 4 por sua vez obtiveram resistências superiores ao definido para a idade de 28 dias.

Quando observamos a resistência adquirida aos 28 dias, a Dosagem 1 quando verificado a resistência média o mesmo passou, porém mais uma vez na resistência característica estimada não obteve êxito, sendo assim o ideal será a não utilização da dosagem, a favor da segurança.

Com relação às Dosagens 2, 3 e 4 todas deram resistências superiores à fixada para o estudo, onde variaram de aos 28 dias de 27 a 37 Mpa.

Quando comparamos os resultados obtidos em função do agregado miúdo é possível observar que as dosagens da qual utilizaram a areia grossa resultaram em uma maior resistência a compressão, isso demonstra que houve um melhor arranjo entre as partículas, ou seja, ocorreu um melhor grau de entrosamento, uma vez que as partículas do agregado miúdo preencheu com maior satisfatoriedade o concreto em questão.

Como verificado apenas a Dosagem 1 é inviável para utilização, porém conforme demonstrado na Tabela acima o restante das Dosagens se enquadram. Sendo assim entrará em questão a melhor relação do custo-benefício.

A Dosagem 2 é considerada a mais viável, uma vez que obteve a resistência à compressão acima do desejado com um menor custo quando comparado com a Dosagem 3 e 4. Porém vale ressaltar que caso o concreto seja utilizado em um local onde se queira adquirir uma resistência inicial mais alta em um tempo de pega menor, a Dosagem 4 é a mais viável, uma vez o seu custo de aquisição é insignificativo quando comparado a Dosagem 3, porém a resistências aos 14 e 28 dias são relevantes.

## 5 CONCLUSÃO

Com o estudo bibliográfico realizado, verificou-se que a melhor maneira de se reduzir o impacto ambiental é a busca, por meio de estudo, de formas de reciclagem e reutilização dos resíduos.

Conforme as considerações feitas no decorrer da pesquisa, foi possível verificar que os agregados reciclados possuem características e propriedades específicas quando comparadas com os agregados convencionais. Essas características são resultantes de diversos fatores, como a sua matéria prima, o seu processo de britagem, dentre outros.

O agregado graúdo reciclado quando analisado o seu comportamento em função da resistência a compressão em concretos mostrou-se bastante variável, em função do tipo de agregado miúdo utilizado e do tipo de cimento Portland, resultando em diferentes dosagens de concreto.

Através das dosagens do concreto pelo Método ABCP, foi observado que os traços finais ficaram bem variados, uma vez que houve uma diversidade no tipo de cimento Portland empregado e do tipo de agregado miúdo, fixando apenas a relação água/cimento e o tipo de agregado graúdo.

Foi possível observar que o agregado miúdo exerceu influência na resistência final do concreto, onde a areia grossa demonstrou um melhor grau de entrosamento entre as partículas na mistura, constatando uma melhor relação com o agregado graúdo reciclado.

Quando comparado às resistências obtidas em função do tipo de cimento utilizado, foi verificado que os concretos que utilizou o Cimento Portland CPV-ARI, adquiriram uma resistência superior aos com o Cimento Portland CPII-E, sendo verídico através da NBR 16697/2018.

Uma das dosagens realizadas não se obteve êxito, na qual foi utilizado o cimento Portland com a areia média, pois não chegou à resistência solicitada aos 28 dias. Com relação as outras três dosagens realizadas, todas antes dos seus 28 dias já estavam com uma

resistência superior à necessária (25 Mpa), ou seja, são dosagens que podem ser utilizadas em concretos não estruturais.

A dosagem que se utilizou o cimento Portland CII-E e areia grossa foi caracterizada com a melhor relação de custo-benefício, visto que adquiriu resistência superior ao solicitado aos 28 dias, com um custo inferior as demais dosagens em torno de 40%. Devido ao fato desse tipo de cimento ser destinado a aplicações gerais, portanto, um dos mais encontrados no mercado consumidor.

Caso haja a necessidade de um concreto para aplicação onde o requisito seja a elevada resistência nas primeiras idades, como no caso de pré-moldados, contrapisos, dentre outros, a utilização do cimento Portland CPV-ARI é o mais adequado. Sendo assim, o traço mais viável é aquele a qual se utilizou o agregado miúdo médio, uma vez que a sua resistência foi superior ao que utilizou o agregado miúdo grosso, e quando comparado com seu valor de aquisição demonstraram-se bem próximo. Vale ressaltar que o cimento Portland CPV-ARI, não é tão encontrado no mercado consumidor, e quando encontrado possui um custo de aquisição quase 30% superior ao cimento Portland CII-E.

Por fim, com os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, conclui-se que os agregados graúdos reciclados podem ser utilizados em concretos não estruturais, uma vez que se teve eficiência em seus resultados, demonstrando, portanto, a utilidade desse agregado na construção civil.

## 6 REFERÊNCIAS

ABRELPE [ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS]. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2015.

ABRELPE [ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS]. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2016.

AGREGADOS, **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. São Paulo, v. 7, p.17-19, dez. 2012.

ALMEIDA, D.L.S. Humberto. **Agregados para a Construção Civil**. São Paulo.

ALIPIO, Ana Paula Rattis. **Reciclagem do entulho da indústria da construção civil**. 2010. Dissertação de Pós Graduação. Universidade de Mackenzie.

ANDRADE, Wilton Luis de. **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**.2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Colégio Estadual Polivalente.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSIS, Alisson da Silveira de. **Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na produção de concretos**. Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia, Ceará, 2015.

BABILON, Anderson Luiz. **Gestão de resíduos sólidos da construção civil: uma proposta para o município de Ipatinga-Mg**. 2008. Dissertação de Pós Graduação. Universidade de Caratinga.

BATISTA, Cristiano Gonçalves. **Influência na resistência a compressão de concretos com agregados reciclados de concreto em substituição ao agregado natural**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002.Publicada no D.O.U de 17 de julho de 2002.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 384**, de 16 de agosto de 2004. Publicada no D.O.U de 17 de agosto de 2004.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Publicada no D.O.U de 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 431**, de 24 de maio de 2011. Publicada no D.O.U de 25 de maio de 2011.



BRASIL, **Resolução CONAMA** nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Publicada no D.O.U de 19 de janeiro de 2012.

BRASIL, **Resolução CONAMA** nº 469, de 29 de julho de 2015. Publicada no D.O.U de 30 de julho de 2015.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto-inflência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

CRISTINA, Bruna M.F. **A utilização de resíduos da construção civil - RCD - como agregado para o concreto**. 1. ed. Formiga: , 2015.

CORDEIRO, L. N. P.; JUNIOR, E. E. B.; MASUERO, Â. B.; MOLIN, D. C. C. D.; BONIN, L. C. **Análise da influência de mistura de Agregado Graúdo Reciclado de Concreto (AGRC) no desempenho mecânico de concreto**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. 2013.

CLIPPING, **Empresa doa blocos de concreto reciclado para construção casas populares**. Ambientebrasil. Disponível em: <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2003/08/31/11919-empresa-doa-blocos-de-concreto-reciclados-para-a-construcao-casas-populares.html>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CLUBE DO CONCRETO. **Umidade dos Agregados miúdos**. Clube do concreto. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/09/umidade-agregados-miudos.html>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CIOCCHI, Luís. **Reciclagem de concreto**. PiniWeb. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/reciclagem-de-concreto-80112-1.aspx>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CUNHA, Júlio Cesar Salles. **Traços de concreto sem função estrutural com adição de entulho**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade de Volta Redonda.

FERNANDES, Bruna Cristina Mirandola. **A utilização de resíduos da construção civil e demolição (RCD) como agregado para o concreto**. 2015.

GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. **Agregados Reciclados de resíduos de concreto-um novo material para dosagens estruturais**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, Evandro Costa. **Reciclagem do concreto na indústria de pré-fabricado**. 2015. Monografia de Pós Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais.

HOOD, Rogério da Silva Scott. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2016. Dissertação de Pós Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR. **Reutilização e reciclagem de resíduos da construção civil**. Belo Horizonte.

JACQUES, Jeovani Rodrigues. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Rio Grande do Sul.

KRÜGER, Patricia; PEREIRA, Eduardo; CHINELATTO, Adriana SA. **INFLUÊNCIA DO AGREGADO RECICLADO NA DURABILIDADE DO CONCRETO: UMA REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA**. *Revista Técnico-Científica*, v. 1, 2017.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

LOVATO, Patrícia Silveira. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007.

MODLER, Luís Eduardo Azevedo; POZZOBON, Cristina Eliza. Avaliação da viabilidade técnica de concreto elaborado com agregado graúdo reciclado. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 8, n. 11, p. 43-53, 2008.

MOREIRA, Lucia Hiromi Higa. **Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó-Determinação da massa específica– Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 26**: Agregados – amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30**: Agregado miúdo-Determinação da absorção de água-Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro 2001

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazio. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente - Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland-Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939**: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Cimento Portland-Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 16697**: Cimento Portland-Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 13463**: Coleta de resíduos sólidos – Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Determinação da massa específica de agregados miúdos pro meio do fraco Chapmano – Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15114:** Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 6502:** Rochas e solo. Rio de Janeiro, 1995.

NETO, Michel João Haddad. **Reciclagem de resíduos da construção civil- A engenharia- O engenheiro-A geração de resíduo – Seu uso e alternativas.** 2012. Monografia de Pós Graduação. Universidade Federal do Paraná.

Levy, Salomon, **produzindo concretos ecológicos e politicamente corretos.** Exacta [online] 2006, 4 [Data da consulta: 3 de maio de 2018] Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81040217>> ISSN 1678-5428

**Manual de Agregados para Construção Civil/Ed. Salvador Luiz M. de Almeida, Adão Benvindo da Luz. -** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

MORENO, Leandro. **REGET: Agregado reciclado: um novo material da construção civil.** 1. ed. Santa Maria: , 2014.

NAZARÉ, Luciana P. C.. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto.** 1. ed. Porto Alegre: , 2013.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga de; MENDES, Osmar. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA.** 2008. Universidade Católica de Goiás.

PANKA, Diogo; MACHOSKI, Márcio. **Concreto com agregados reciclados: estudo de fatores de eficiência**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Paraná.

PEREIRA, Eduardo; HENRIQUE, Marcelo; MONY LEVY, Salomon. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados**. 1. ed. Porto Alegre: , 2012.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

**PLANO de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil – PGIRCC/ Ana Lúcia Maia...** [et al.]. -- Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009.44 p. ; il.

PREFEITURA DE BH, . **Reciclagem de entulho**. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/informacoes/reciclagem-de-entulhos>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

SANTOS, Ewerton Weynemi Cavalcante dos. **Aquisição e utilização dos produtos gerados pela reciclagem de RCD: percepção de empresas construtoras em Natal/RN**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, Dahiane O. Z. **Estudo Comparativo Entre a Resistência à Compressão do Concreto com Agregado Convencional Calcário e com Agregados Recicláveis**. Cuiabá, 2017.

SILVEIRA, Patrícia. **Verificação dos parâmetros de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 1. ed. Porto Alegre: , 2007.

SOUZA, Leandro Moreno de; ASSIS, Cleber Decarli de; SOUTO, Sílvia Barroso Gomes. **AGREGADO RECICLADO: UM NOVO MATERIAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.273-278, 7 abr. 2014. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117011297>.

SOUZA, Ioneide Nudes Carvalho. **Impactos causados pelos resíduos procedentes da construção civil e demolição: uma análise concetual dos procedimentos para minimizá-los**. 2015. Instituto Antônio Carlos Porto.

SILVA, Wanderson; JÚNIOR, Edison Soares Melo; COELHO, Glaúber Tulio Fonseca; PEREIRA, Daniel Rocha. **Utilização de agregados do resíduos da construção e demolição (RCD) em pavimentação**. Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia, Ceará, 2015.

SILVA, Luiz Ricardo Amaro. **Utilização do entulho como agregado para a produção de concreto reciclado**. 2004. Dissertação de Pós Graduação. Universidade Federal Fluminense.

SILVA, Leonardo Costa; FELIX, Ludmylla Pires; SANTOS, Thiago Martins. **Influência dos agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. Dissertação de Pós Graduação. Universidade Federal de Alagoas.

TRICHÊS, G.; KRYCKYJ, P. R. Aproveitamento de entulho da construção civil na pavimentação urbana. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**. 1999. p. 259-265.

VIEIRA, Geilma L.; Molin, Denise C.C. Dal. **Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição**. 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZANGESKI, Dahiane dos Santos Oliveira et al. Estudo Comparativo Entre a Resistência à Compressão do Concreto com Agregado Convencional Calcário e com Agregados Recicláveis. **Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 21, n. 2, p. 64-69, 2017.

## 7 ANEXO A

INDICE DE FORMA NBR 7809				
Grão		C (maior dimensão possível de ser medida) e define a direção do comprimento do grão (mm)	e ( espessura de um grão) é a maior distancia possível entre dois planos paralelos a direção do comprimento do grão (mm)	Relação c/e
12,5 mm	1	32,26	8,22	3,925
	2	24,77	9,07	2,731
	3	24,47	12,35	1,981
	4	30,35	15,97	1,900
	5	22,75	11,51	1,977
	6	23,83	9,54	2,498
	7	24,96	11,52	2,167
	8	25,03	9,18	2,727
	9	19,32	11,76	1,643
	10	24,42	9,59	2,546
	11	28,15	11,25	2,502
	12	18,46	13,65	1,352
	13	29,66	13,08	2,268
	14	28,59	7,40	3,864
	15	21,83	11,46	1,905
	16	21,11	12,81	1,648
	17	24,28	12,15	1,998
	18	30,60	16,15	1,895
	19	25,14	15,82	1,589
	20	22,30	9,40	2,372
	21	22,61	7,31	3,093
	22	22,50	14,65	1,536
	23	20,30	8,75	2,320
	24	26,87	10,85	2,476
	25	19,38	14,62	1,326
	26	20,32	7,11	2,858
	27	24,27	12,80	1,896
	28	25,83	8,55	3,021
	29	17,17	12,74	1,348
	30	23,53	10,75	2,189
	31	17,62	14,09	1,251
	32	23,93	11,38	2,103
	33	25,43	12,99	1,958
	34	19,54	6,90	2,832
	35	19,53	10,10	1,934
	36	20,81	7,68	2,710
	37	24,62	13,83	1,780



38	21,75	7,21	3,017
39	21,59	15,27	1,414
40	24,02	12,29	1,954
41	21,42	11,96	1,791
42	21,38	10,54	2,028
43	22,18	10,13	2,190
44	21,51	9,12	2,359
45	19,18	12,39	1,548
46	21,73	9,19	2,365
47	23,67	7,50	3,156
48	21,41	9,62	2,226
49	22,61	11,21	2,017
50	21,81	7,71	2,829
51	23,54	9,73	2,419
52	24,21	5,93	4,083
53	25,03	9,02	2,775
54	26,62	15,84	1,681
55	27,79	11,87	2,341
56	28,05	11,60	2,418
57	24,30	9,04	2,688
58	20,61	11,56	1,783
59	23,55	10,49	2,245
60	20,99	14,30	1,468
61	24,07	9,58	2,513
62	28,31	10,54	2,686
63	22,81	9,01	2,532
64	21,82	12,86	1,697
65	22,43	9,56	2,346
66	21,80	13,36	1,632
67	21,77	12,50	1,742
68	20,73	4,42	4,690
69	17,40	13,40	1,299
70	22,18	14,76	1,503
71	22,50	13,60	1,654
72	27,56	5,64	4,887
73	21,76	8,56	2,542
74	31,14	8,39	3,712
75	25,85	6,12	4,224
76	20,98	8,87	2,365
77	21,97	8,83	2,488
78	21,05	4,96	4,244
79	28,29	13,09	2,161
80	19,77	9,28	2,130
81	22,05	11,22	1,965
82	22,87	7,04	3,249

	83	20,75	12,99	1,597
	84	21,75	9,04	2,406
	85	19,49	11,21	1,739
	86	20,58	11,31	1,820
	87	20,58	7,23	2,846
	88	22,19	10,97	2,023
	89	21,68	10,72	2,022
	90	18,94	12,37	1,531
	91	19,14	13,14	1,457
	92	22,73	9,02	2,520
	93	19,06	10,97	1,737
	94	19,73	7,94	2,485
	95	22,26	8,35	2,666
	96	20,24	12,96	1,562
	97	18,46	14,40	1,282
	98	17,32	11,25	1,540
	99	20,62	8,33	2,475
	100	19,22	12,87	1,493
	101	21,39	11,31	1,891
	102	19,54	9,94	1,966
	103	18,57	10,85	1,712
	104	18,77	10,98	1,709
	105	21,77	10,79	2,018
	106	19,64	8,55	2,297
	107	19,09	6,03	3,166
9,5 mm	108	30,94	7,52	4,114
	109	25,27	6,97	3,626
	110	25,32	6,42	3,944
	111	23,71	5,24	4,525
	112	23,82	9,64	2,471
	113	25,31	8,23	3,075
	114	23,30	8,15	2,859
	115	21,08	9,99	2,110
	116	24,10	9,94	2,425
	117	17,43	9,74	1,790
	118	19,48	8,61	2,262
	119	18,54	12,13	1,528
	120	15,59	7,42	2,101
	121	17,03	9,34	1,823
	122	19,41	7,88	2,463
	123	19,51	10,01	1,949
	124	16,30	10,62	1,535
	125	22,44	9,04	2,482
	126	23,66	10,34	2,288
	127	21,80	7,40	2,946

128	18,19	9,47	1,921
129	17,56	9,46	1,856
130	20,86	7,24	2,881
131	20,13	4,01	5,020
132	27,94	7,62	3,667
133	18,82	8,44	2,230
134	18,16	11,87	1,530
135	22,71	8,09	2,807
136	21,06	9,58	2,198
137	20,40	11,46	1,780
138	16,90	11,20	1,509
139	16,83	7,91	2,128
140	19,93	7,08	2,815
141	24,16	6,08	3,974
142	19,77	8,67	2,280
143	20,99	10,49	2,001
144	23,04	5,62	4,100
145	23,40	5,62	4,164
146	21,36	7,94	2,690
147	17,23	7,57	2,276
148	17,94	8,01	2,240
149	15,72	10,86	1,448
150	20,33	10,90	1,865
151	25,56	5,19	4,925
152	15,53	7,70	2,017
153	21,22	7,81	2,717
154	15,00	4,48	3,348
155	17,65	10,15	1,739
156	14,34	7,39	1,940
157	23,98	5,02	4,777
158	20,74	4,75	4,366
159	15,61	5,38	2,901
160	20,67	9,25	2,235
161	18,12	5,88	3,082
162	17,72	7,84	2,260
163	21,92	7,77	2,821
164	20,67	7,95	2,600
165	17,64	8,04	2,194
166	15,83	7,82	2,024
167	20,54	9,36	2,194
168	17,49	7,48	2,338
169	18,77	2,70	6,952
170	19,66	9,83	2,000
171	18,28	6,80	2,688
172	18,81	6,58	2,859

173	14,62	3,80	3,847
174	12,75	7,43	1,716
175	18,12	6,48	2,796
176	18,03	9,12	1,977
177	29,60	4,70	6,298
178	17,21	11,91	1,445
179	14,57	5,63	2,588
180	21,41	8,44	2,537
181	15,75	7,06	2,231
182	16,03	6,62	2,421
183	17,22	6,52	2,641
184	19,39	6,83	2,839
185	16,91	4,79	3,530
186	18,49	9,95	1,858
187	18,18	5,61	3,241
188	20,16	8,95	2,253
189	18,01	7,27	2,477
190	16,97	6,82	2,488
191	17,07	9,91	1,723
192	22,37	10,36	2,159
193	15,06	8,92	1,688
194	23,11	5,31	4,352
195	17,26	7,39	2,336
196	17,02	5,90	2,885
197	15,16	8,42	1,800
198	17,41	5,50	3,165
199	13,53	9,57	1,414
200	16,49	6,00	2,748

## 8 ANEXO B

INDICE DE FORMA NBR 7809				
Grão	C (maior dimensão possível de ser medida) e define a direção do comprimento do grão (mm)	e ( espessura de um grão) é a maior distancia possível entre dois planos paralelos a direção do comprimento do grão (mm)	Relação C/e	
12,5 mm	1	27,06	6,85	3,950
	2	25,47	12,26	2,077
	3	20,33	13,55	1,500
	4	23,45	9,87	2,376
	5	22,51	13,31	1,691
	6	26,85	13,28	2,022
	7	19,66	8,11	2,424

8	34,87	8,18	4,263
9	24,88	13,83	1,799
10	20,65	13,27	1,556
11	21,16	9,11	2,323
12	21,19	13,31	1,592
13	20,73	12,08	1,716
14	22,65	13,12	1,726
15	21,04	9,24	2,277
16	20,08	10,1	1,988
17	20,01	12,92	1,549
18	24,2	11,68	2,072
19	30,5	13,87	2,199
20	18,13	12,51	1,449
21	25,89	9,41	2,751
22	24,95	11,08	2,252
23	23,65	10,27	2,303
24	22,7	8,8	2,580
25	31,08	12,38	2,511
26	22,36	10,49	2,132
27	24	10,49	2,288
28	24,07	14,47	1,663
29	22,04	14,88	1,481
30	20,11	9,83	2,046
31	17,98	9,86	1,824
32	25,71	8,93	2,879
33	20,58	8,85	2,325
34	21,8	13,13	1,660
35	19,02	9,11	2,088
36	21,16	9,5	2,227
37	23,37	11,93	1,959
38	27,22	8,66	3,143
39	20,36	15,19	1,340
40	24,39	13,68	1,783
41	20,36	9,01	2,260
42	25,23	9,86	2,559
43	15,84	13,95	1,135
44	26,97	7,98	3,380
45	33,84	9,77	3,464
46	25,53	10,15	2,515
47	18,59	9,4	1,978
48	18,84	10,39	1,813
49	21,81	12,29	1,775
50	26,71	12,26	2,179
51	19,87	13,36	1,487
52	24,68	8,27	2,984

53	23,09	7,66	3,014
54	21,03	8,07	2,606
55	30,03	9,39	3,198
56	31,5	7,79	4,044
57	23,8	9,27	2,567
58	21,74	11,48	1,894
59	23,67	14,29	1,656
60	19,26	5,58	3,452
61	22,21	11,01	2,017
62	18,89	11,33	1,667
63	16,67	9,6	1,736
64	21,55	9,5	2,268
65	16,84	11	1,531
66	22,66	11,85	1,912
67	20,01	11,72	1,707
68	19,7	9,18	2,146
69	24,24	11,09	2,186
70	23,95	9,6	2,495
71	19,75	11,89	1,661
72	17,57	10,41	1,688
73	27,71	7,84	3,534
74	18,48	6,11	3,025
75	15,91	12	1,326
76	16,53	10,64	1,554
77	25,95	9,19	2,824
78	18,07	9,9	1,825
79	20,5	10,35	1,981
80	24,52	12,64	1,940
81	20,2	14,39	1,404
82	16,47	11,23	1,467
83	26,57	11,4	2,331
84	22,9	19,21	1,192
85	27,47	7,69	3,572
86	18,33	12,1	1,515
87	16,95	7,46	2,272
88	21,65	11,53	1,878
89	19,92	9,98	1,996
90	17,06	10,22	1,669
91	16,76	11,81	1,419
92	19,09	11,06	1,726
93	26,3	9,36	2,810
94	16,43	10,57	1,554
95	18,5	11,06	1,673
96	19,66	7,55	2,604
97	17,22	9,85	1,748

	98	25,2	13,66	1,845
	99	22,04	10,86	2,029
	100	21,44	8,01	2,677
	101	17,34	11,1	1,562
	102	23,56	7,95	2,964
	103	22,85	11,43	1,999
	104	19,34	12,8	1,511
9,5 mm	105	21,27	9,24	2,302
	106	26,66	12,17	2,191
	107	18,18	7,7	2,361
	108	21,32	9,16	2,328
	109	21,27	10,6	2,007
	110	17,32	8,18	2,117
	111	20,64	6,19	3,334
	112	24,13	7,34	3,287
	113	21,73	10,3	2,110
	114	19,78	8,25	2,398
	115	28,7	10,14	2,830
	116	22,4	8,83	2,537
	117	30,2	7,95	3,799
	118	16,95	10,6	1,599
	119	22,32	11,26	1,982
	120	15,96	10,26	1,556
	121	18,4	7,89	2,332
	122	15,86	7,22	2,197
	123	14,44	7,11	2,031
	124	13,56	10,13	1,339
	125	15,88	11,71	1,356
	126	24,86	6,28	3,959
	127	24,88	7,29	3,413
	128	26,56	9,87	2,691
	129	22,59	12,21	1,850
	130	17,98	8,33	2,158
	131	23,35	9,87	2,366
	132	16,17	8,16	1,982
	133	22,81	8,92	2,557
	134	23,79	6,77	3,514
	135	19,02	11,21	1,697
	136	21,35	9,76	2,188
	137	23,89	7,63	3,131
	138	22	7,56	2,910
	139	17,21	6,96	2,473
	140	17,17	9,47	1,813
	141	21,67	11,08	1,956
	142	18,67	12,42	1,503

143	16,78	9,87	1,700
144	19,96	6,13	3,256
145	17,96	7,46	2,408
146	18,83	7,81	2,411
147	17,79	8,05	2,210
148	27	10,22	2,642
149	20,71	3,98	5,204
150	18,06	9,64	1,873
151	20,71	8,97	2,309
152	24,56	7,97	3,082
153	17,88	9,94	1,799
154	29,54	10,63	2,779
155	18,81	9,99	1,883
156	23,21	9,85	2,356
157	17,61	9,31	1,892
158	14,12	8,85	1,595
159	13,96	7,87	1,774
160	19,29	9,32	2,070
161	15,39	10,35	1,487
162	14,33	7,36	1,947
163	16,07	7,87	2,042
164	25,03	10,19	2,456
165	15	10,07	1,490
166	16,22	9,83	1,650
167	15,3	9,06	1,689
168	21,49	9,37	2,293
169	23,54	7,85	2,999
170	23,97	9,89	2,424
171	22,27	9,26	2,405
172	18,58	10,67	1,741
173	19,18	7,67	2,501
174	21,85	10,44	2,093
175	18,67	9,44	1,978
176	20,65	7,04	2,933
177	21,41	9,64	2,221
178	17,44	8,75	1,993
179	23,49	10,17	2,310
180	19,4	9,24	2,100
181	16,86	8,82	1,912
182	23,11	4,42	5,229
183	16,7	8,48	1,969
184	16,59	12,44	1,334
185	20,64	9,25	2,231
186	13,31	8,95	1,487
187	13,82	8,42	1,641



188	18,35	6,33	2,899
189	19,95	4,27	4,672
190	14,55	10,29	1,414
191	12,65	6,93	1,825
192	17,25	5,03	3,429
193	17,56	8,66	2,028
194	17,64	8,76	2,014
195	16,6	7,81	2,125
196	18,69	9,05	2,065
197	15,27	8,31	1,838
198	13,79	8,09	1,705
199	12,23	8,78	1,393
200	11,79	7,52	1,568