

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Guilherme Borges Masuero

**CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DE DURABILIDADE
DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS
RECICLADOS DE CONCRETO APÓS SEPARAÇÃO POR
DENSIDADE**

Porto Alegre

Julho 2017

GUILHERME BORGES MASUERO

**CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DE DURABILIDADE
DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS
RECICLADOS DE CONCRETO APÓS SEPARAÇÃO POR
DENSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Porto Alegre

Julho 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, João Ricardo Masuero e Angela Borges Masuero, e a minha irmã Carolina Borges Masuero por todo o apoio e incentivo que me deram em todos os momentos da minha vida.

Agradeço à doutora professora Denise Carpena Coitinho Dal Molin, orientadora desse trabalho de conclusão de curso, por toda orientação e ajuda tanto teórica, quanto prática que pode me dar durante a elaboração desse trabalho.

Agradeço à doutora professora Rejane Maria Candiota Tubino, relatora deste trabalho de conclusão de curso, pela disponibilidade e contribuições feitas a esse trabalho.

Agradeço a todas as pessoas do LAMTAC, por todo o auxílio prestado durante a preparação, a execução e análise dos ensaios executados nesse trabalho.

Agradeço as pessoas do LAPROM por separar e enviar o material necessário para a execução desse trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma maneira auxiliaram a execução desse trabalho.

RESUMO

Nos dias de hoje, a indústria da construção civil é responsável por um grande impacto ambiental devido ao alto consumo de matérias primas não renováveis. Além disso, a construção civil é um polo gerador de resíduos, que são descartados erroneamente, mesmo alguns apresentando alto valor agregado. Aliado a isso, algumas das principais matérias primas utilizadas na construção civil estão se esgotando, gerando a necessidade de achar novos materiais para substituição. Por isso, desde a década de 80, se estudam o resíduo de construção e demolição para ser uma alternativa aos materiais tradicionais. Diversos estudos foram desenvolvidos quanto à utilização desse resíduo como agregado graúdo no concreto, sendo observado a grande variabilidade dos resultados obtidos, devido a diversas composições e origens do material. Uma possibilidade para minimizar a variabilidade do RCD seria através de equipamentos separadores por densidade, como o jigue pneumático, já utilizado na área de mineração. Com intuito de avaliar a eficácia da separação dos materiais por massas específicas, se comparou os resultados de características mecânicas e de durabilidade dos concretos de diferentes massas específicas. No escopo do trabalho, foram estudados cinco agregados reciclados com massas específicas diferentes, entre elas: 2,2 g/cm³, 2,4 g/cm³, 2,6 g/cm³, uma composição de massas específicas de 2,4 e 2,6 g/cm³ e a brita natural. Para uma completa avaliação, foram executados 5 concretos diferentes, comparados nos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de deformação e absorção por capilaridade. Após a análise dos resultados obtidos nos ensaios, pode-se afirmar que os agregados reciclados de concreto com massas específicas de 2,4 g/cm³, 2,6 g/cm³ e 2,4*2,6 g/cm³ apresentam o mesmo comportamento que a brita natural, sendo, somente, o agregado reciclado de concreto de massa específica de 2,2 g/cm³ com uma resposta diferente aos ensaios, com decréscimo no desempenho nas características mecânicas.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Reaproveitamento de Resíduos. Agregados Reciclados de Concreto. Redução da Variabilidade do Agregado Reciclado de Concreto. Concreto com Agregados Reciclado de Concreto. Separação por Densidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mecanismo de expansão por reação álcali-agregado	25
Figura 2 Relação entre argamassa aderida em massa e a absorção da água	34
Figura 3- Proporção entre módulo de elasticidade e a relação água/cimento	43
Figura 4 - Funcionamento de um Jigue a ar	51
Figura 5 - Representação esquemática do procedimento do ensaio de afunda-flutua.....	53
Figura 6 - Secagem dos agregados reciclados de concreto após saturação dos mesmos e previamente à produção do concreto.....	59
Figura 7- Processo de execução do ensaio de abatimento descrito conforme na NBR NM 67.....	61
Figura 8 - Vibração dos corpos de prova utilizando a mes vibratória.....	61
Figura 9 - Ensaio de resistência à compressão axial.	63
Figura 10 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	64
Figura 11– Ensaio de módulo de deformação	65
Figura 12– Vista geral dos corpos de prova impermeabilizados lateralmente durante o ensaio de absorção.....	66
Figura 13– Influência da massa específica e do traço na resistência à compressão axial, aos 35 dias.	68
Figura 14– Influência da massa específica na resistência à compressão axial, aos 35 dias.	70
Figura 15– Influência do traço na compressão axial.....	70
Figura 16– Influência do traço na compressão axial.....	71
Figura 17– Influência da massa específica e do traço na resistência à compressão diametral.....	72
Figura 18– Influência do traço na tração por compressão diametral.....	74
Figura 19– Influência da massa específica e do traço no módulo de deformação.....	76
Figura 20 - Influência das massas específicas no modulo de deformação.....	78
Figura 21 - Influência do traço no modulo de deformação.....	79
Figura 22 –Comportamento dos traços e massas específicas referentes a absorção de água por capilaridade.....	80
Figura 23 - Comportamento dos traços e massas específicas referentes a absorção de água por capilaridade nas 72h de ensaio.....	81

Figura 24– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:3,5.	83
Figura 25– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:6,5.	83
Figura 26– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:5,0.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados sobre a geração de resíduos de construção e demolição em algumas cidades brasileiras	18
Tabela 2- Absorções em níveis diferentes para cada tipo de material.....	32
Tabela 3- Absorção de água por material cerâmico.....	32
Tabela 4- Absorção de água por agregado reciclado graúdo de concreto.....	33
Tabela 5- Absorção de água por agregado reciclado miúdo de concreto.....	33
Tabela 6- Índice do formato de diferentes materiais.....	37
Tabela 7- Volume percentual de impurezas que reduzem a resistência à compressão em 15% quando comparados com os concretos de referência.	41
Tabela 8- Diminuição do valor do módulo de elasticidade em concretos de agregados recicláveis em comparação à concretos de agregados naturais.....	42
Tabela 9- Características físicas do agregado.....	54
Tabela 10- Granulometria média da areia quartzosa utilizada.....	55
Tabela 11 - Resumo propriedades físicas por massa específica	56
Tabela 12- Características físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,2 g/cm ³	56
Tabela 13- Características físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,4 g/cm ³	56
Tabela 14- Características físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,6 g/cm ³	57
Tabela 15- Quantidade de materiais por traço de concreto em kg.....	58
Tabela 16- Abatimento (mm) , relação água/cimento e massa específica no estado fresco (g/cm ³) de cada traço.....	60
Tabela 17- Relação entre as resistências à compressão axial médios e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.	67
Tabela 18- ANOVA para resistência à compressão axial.....	68
Tabela 19- Comparações múltiplas de médias das massas específicas.....	69
Tabela 20 - Comparações múltiplas de médias dos traços.....	69
Tabela 21- Relação entre as resistências à tração por compressão diametral e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.....	71

Tabela 22– ANOVA para resistência à tração por compressão diametral.....	73
Tabela 23– Comparações de médias dos traços.	73
Tabela 24- Relação entre as resistências à tração por compressão diametral e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.	75
Tabela 25 – ANOVA para o módulo de deformação.	76
Tabela 26– Comparações de médias das massas específicas.	77
Tabela 27- Comparação de medias dos traços	78
Tabela 28 – Relação entre as absorções de água por capilaridade com as massas específicas estudadas e com os traços ensaiados.....	80
Tabela 29– ANOVA para absorção de água por capilaridade.....	81
Tabela 30– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:3,5.....	82
Tabela 31– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:6,5.....	84
Tabela 32– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:5,0.....	84

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

RCD – Resíduo de construção e demolição

ARCD – Agregado de resíduo de construção e demolição

PVC – Policloreto de Vinila

MPa – Mega Pascal

GPa – Giga Pascal

Kg – Quilograma

m³- Metros cúbicos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	15
2.1	CLASSIFICAÇÃO	15
2.2	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	15
2.2.1	<i>Definição</i>	<i>15</i>
2.2.2	<i>Origem e geração.....</i>	<i>17</i>
2.2.3	<i>Composição e variabilidade.....</i>	<i>19</i>
2.2.4	<i>Contaminantes presentes no agregado</i>	<i>21</i>
2.2.4.1	Gesso.....	21
2.2.4.2	Metais.....	22
2.2.4.3	Matéria orgânica ou solos argilosos.....	22
2.2.4.4	Cloretos e sulfatos.....	23
2.2.4.5	Materiais betuminosos	24
2.2.4.6	Vidros.....	24
2.2.4.7	Outros contaminantes.....	26
2.2.5	<i>Reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD)</i>	<i>26</i>
3	UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CONCRETO	29
3.1	MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA.....	29
3.2	ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE	30
3.3	GRANULOMETRIA	35
3.4	FORMA, TEXTURA E ABRASÃO	35
3.5	PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	37
3.6	PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	38
3.6.1	<i>Resistência à compressão.....</i>	<i>38</i>

3.6.2	<i>Módulo de Elasticidade</i>	41
4	BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO	44
4.1	COMINUIÇÃO	44
4.1.1	<i>Britador de iMPacto</i>	44
4.1.2	<i>Britador de mandíbula</i>	45
4.1.3	<i>Moinho de martelo</i>	45
4.1.4	<i>Rebritadores de cones ou Cones de britagem</i>	46
4.1.5	<i>Rebritadores de rolos ou Britador de rolo</i>	46
4.2	SEPARAÇÃO POR TAMANHO	46
4.3	CONCENTRAÇÃO OU LAVADORES	47
4.4	OPERAÇÕES AUXILIARES	47
5	MÉTODOS DE SEPARAÇÃO	48
5.1	JIGUE	48
5.1.1	<i>Teorias Base da Jigagem</i>	49
5.1.1.1	Teoria Hidrodinâmica	49
5.1.1.1.1	Sedimentação retardada diferencial	49
5.1.1.1.2	Aceleração diferencial.....	50
5.1.1.1.3	Consolidação Intersticial	50
5.1.1.2	Teoria potencial	50
5.1.2	<i>Jigue a Ar</i>	51
5.2	MÉTODO DOS LÍQUIDOS	51
6	PROGRAMA EXPERIMENTAL	54
6.1	MATERIAIS.....	54
6.1.1	<i>Agregados Naturais</i>	54
6.1.1.1	Agregado Graúdo.....	54
6.1.1.2	Agregado Miúdo	55
6.1.2	<i>Agregados Reciclados</i>	55

6.1.3	<i>Cimento</i>	57
6.1.4	<i>Água</i>	57
6.2	PRODUÇÃO DE CONCRETO	57
6.2.1	<i>Produção do Concreto</i>	59
6.3	MÉTODOS DE ENSAIO.....	62
6.3.1	<i>Resistência à Compressão Axial</i>	62
6.3.2	<i>Resistência à Tração Por Compressão Diametral</i>	63
6.3.3	<i>Módulo de Deformação</i>	64
6.3.4	<i>Absorção</i>	65
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	67
7.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	67
7.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	71
7.3	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO	74
7.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	79
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
8.1	CONCLUSÕES	86
8.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	87
	ANEXO A.....	97
	ANEXO B	99
	ANEXO C.....	101
	ANEXO D.....	103

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por um enorme iMPacto ambiental devido a sua grande demanda de matérias primas não renováveis (CORDEIRO, 2013). Além disso, a indústria da construção civil é responsável por gerar enorme quantidade de resíduos, normalmente descartados, mesmo apresentando um alto valor agregado (LOVATO, 2007)

John (1996) afirmou que os maiores geradores de resíduos são os países desenvolvidos e em desenvolvimento, devido à alta taxa de novas construções para suprir uma crescente demanda de moradia e uma grande necessidade de renovação do espaço já usado. Devido a essa alta exploração de matérias primas nas localidades mais próximas, a matéria prima para a indústria da construção civil fica escassa, deixando de ser economicamente viável sua utilização.

Por isso, Zordan (1997) afirma que a indústria da construção civil começa a mudar os métodos organizacionais e produtivos para além de economizar tempo e dinheiro, dinamizar o uso da matéria prima não renovável e a reutilização dos resíduos gerados.

Apesar dos resíduos de construção e demolição já serem estudados e utilizados desde a década de oitenta em países como Holanda, Japão e Reino Unido, no Brasil, na construção civil, essa prática ainda não é comum (LOVATO,2007). Dentre os motivos para isso acontecer pode-se citar a possível presença de contaminantes no agregado, os comportamentos distintos entre os diferentes agregados de resíduos de construção e demolição, a falta de separo dos resíduos na fonte e ainda a grande variabilidade apresentada pelos resíduos de construção e demolição (ZORTEA, 2014b).

A necessidade de viabilizar o uso de RCD para desperdiçar menos material com grande valor agregado, fez com que se tentasse entender o comportamento físico, químico e tecnológico do material. Como a variabilidade do RCD é o maior problema para sua utilização, diversos estudos, utilizando diferentes técnicas, métodos e equipamentos, foram realizados tentando separar o material a fim de minimizar a variabilidade existente.

Bigolin (2013) afirma que a reutilização de resíduos já tem uma base sólida em obras de pavimentação, em concretos magros, em obras de drenagem, entre outros. Porém, somente a

reutilização de resíduo como agregado na construção civil faria com que o mercado usasse grande parte dos resíduos gerados.

Dentre os métodos utilizados para separar e selecionar o material para reutilização usando como meio de separação a densidade, a jigagem e a separação por meios densos se destacam. A jigagem funciona pelo fluxo ascensional de um meio fluido para separar o material por densidade, já sendo utilizado em grande escala pelas indústrias de mineração. O método de meios densos, utilizando o princípio do afunda-flutua, usa líquidos de diferentes densidade para separar o material. Esse método apresenta uma maior precisão pela possibilidade de dosagem de diversos líquidos de densidades diferentes, porém, tem como problema a toxicidade dos líquidos usados para separação, impedindo seu uso em grande escala.

Visto essa grande demanda de reutilização de resíduos de construção e demolição, esse trabalho visa analisar a influência do agregado de resíduos de construção e demolição de concreto na resistência à compressão e no módulo de elasticidade de novos concretos. A comparação será feita entre concretos utilizando agregados graúdo de RCD de três grupos de densidades, separados pelo método dos líquidos densos, com um concreto utilizando agregado natural.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 CLASSIFICAÇÃO

Os resíduos sólidos, independente da atividade proveniente, são classificados em duas classes de acordo com a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

a) classe I (perigosos): estes resíduos são os caracterizados como inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. Sendo assim, são os que apresentam algum tipo de risco ao meio ambiente e/ou indivíduo;

b) classe II (não perigosos): estes resíduos estão subdivididos em duas subclasses,

- classe II A (não inertes): não são configurados nas categoria de resíduos classe I (perigosos) ou na de resíduos classe II B (inertes). Estes resíduos podem ser biodegradáveis, combustíveis ou serem solúveis em água;

- classe II B (inertes): são os resíduos que não sofrem solubilização ao ponto de alterar as características da água, quando são expostos à ela. Sendo a água (destilada ou deionizada) em temperatura ambiente.

Normalmente, os resíduos gerados pelas atividades da construção civil são classificados na classe II B, no entanto, quando constatada a presença de materiais como tintas, solventes, óleos, entre outros, ou provenientes de locais como instalações industriais, clínicas radiológicas, entre outros, onde podem ter sido contaminados, são classificados na classe I (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

2.2.1 Definição

Os resíduos de construção e demolição (RCD), em um conceito amplo, são resíduos sólidos não contaminados provenientes da construção, reforma, reparo e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultantes da limpeza e escavação de solos (Biocycle, 1991).

Na Resolução Nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 2002) alterada pelas resoluções de número 348/2004, 448/2012 e 469/2015, os resíduos de construção civil são definidos como:

[...] 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 NBR 15116 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004b) classifica os diferentes tipos de resíduos gerados:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas 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, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV - 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 materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde

É importante destacar que a denominação usada pela legislação Brasileira tanto nas resoluções do CONAMA quanto nas Normas Técnicas da ABNT denominam os resíduos como resíduos da construção civil (RCC) enquanto pesquisas de âmbito nacional e internacional se referem aos resíduos como resíduos de construção e demolição (RCD).

2.2.2 Origem e geração

O pensamento de mudança dos métodos organizacionais e produtivos se desenvolveu não só pelo simples desperdício de tempo, material, ou seja, de dinheiro, mas pelo fato de que são finitos os espaços destinados para a deposição dos resíduos (ZORDAN, 1997).

Dados apresentados por Ângulo (2005) demonstram que, segundo Sinduscon-SP(2005), a construção informal e canteiros de obra são responsáveis por 50% dos resíduos de construção e demolição gerados no Brasil (LOVATO, 2007). Entre os motivos para essa grande parcela estão a qualificação deficiente da mão de obra, a tecnologia empregada de baixa rentabilidade e pouco moderna, problemas na formação do projeto executivo e a baixa qualidade do maquinário e dos produtos usados (CABRAL, 2007).

No entanto, a criação de um método construtivo cem por cento eficaz não acabaria com o problema de destinação dos resíduos pois uma parcela significativa vem da demolição. Entre as principais razões para o aumento dos resíduos de demolição está o fim da vida útil das edificações, novas necessidades de espaço e ocupação urbana, mesmo as edificações não tendo chegado ao fim de sua vida útil, e os resíduos gerados por fenômenos destrutivos da natureza, como furacões, terremotos e tempestades (OIKONOMOU, 2005). No último caso, nem todos os resíduos poderão ser aproveitados, pois pode existir a contaminação por resíduos tóxicos encontrados facilmente na construção, como o amianto, que se incorporam nas partículas finas (LAURITZEN,1998).

John (1996) afirma que nos países que apresentam o maior consumo de materiais de construção, por sua vez gerando uma maior quantidade de resíduos, são os países desenvolvidos e em desenvolvimento, devido ao grande número de construções decorrentes tanto de crescimento das cidades como de renovação de espaços devido a novas necessidades. Um exemplo disso é os Estados Unidos que gera anualmente em torno de 300 milhões de toneladas de RCD, sendo resíduos de concreto, os quais tem um bom valor de reaproveitamento, entre 40 e 50 milhões de toneladas (LOVATO, 2007).

Os desastres naturais e conflitos armados tendem a ser grandes fontes geradoras de resíduos. Na cidade de Beirute havia em 1995 aproximadamente 20 milhões de toneladas de resíduos de

construção e demolição. Nos EUA, o furacão Andrew causou a destruição de 100 mil residências na Flórida em 1992 (LAURITZEN, 1998).

No Brasil, os resíduos de construção e demolição representam em torno de dois terços de todos os resíduos sólidos depositados nas cidades de médio e grande porte (Pinto, 1996). Porém há uma carência de informação desses resíduos, sendo que, em âmbitos urbanos, os planos diretores priorizam as ações sobre os lixos domésticos, relevando a um segundo plano o RCD (MASSUNARI, 2000).

Devido a essa política, o esgotamento do sistema de depósitos urbanos para resíduos se agrava quando os resíduos da construção e demolição, entre 0,7 e 1 tonelada por habitante, chegam a representar o dobro de resíduos sólidos gerados nos municípios por outras fontes (PERA, 1996). Na tabela 1 se encontram dados sobre o RCD em algumas cidades brasileiras.

Tabela 1- Dados sobre a geração de resíduos de construção e demolição em algumas cidades brasileiras

Cidade	População (milhões de habitantes)	Geração de RCD (ton/dia)	% de RCD em relação ao resíduo sólido urbano	Produção de RCD (kg/hab.dia)
São Paulo ¹	10,00	10866	ND	1,08
Porto Alegre ²	1,29	350	ND	0,27
Salvador ³	2,20	2750	50	1,25
Ribeirão Preto ⁴	0,46	1043	67	2,27
São José do Rio Preto ⁴	0,32	687	ND	2,15
Jundiaí ⁴	0,29	712	ND	2,46
Santo André ⁴	0,63	1013	58	1,61
Belo Horizonte ⁴	2,01	1200	51	0,60
Vitória da Conquista ⁴	0,24	310	ND	1,29
São José dos Campos ⁴	0,50	733	65	1,47
Rio de Janeiro ³	5,90	863	19	0,14
Guaratinguetá ¹	0,10	60	ND	0,60
Taubaté ¹	0,23	230	ND	1,00

(fonte: ¹OLIVEIRA et al., 2004a; ²COSTA, 1998; ³NUNES, 2004 apud AFFONSO, 2005; ⁴LEITE, 2001)

A atividade de construção civil gera uma quantidade tão significativa de resíduos que se os mesmos fossem totalmente reutilizados, seria suprida a demanda de habitações de caráter popular, além da de pavimentação de novas vias (PINTO, 1987).

2.2.3 Composição e variabilidade

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 21), o agregado tem influência direta e de grande importância nas propriedades do concreto, como massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional. Essas dependem fundamentalmente das características físicas do agregado, como a densidade e a resistência mecânica, que variam de acordo com o volume, tamanho e porosidade dos agregados constituintes do concreto.

O resíduo de construção e demolição talvez seja o resíduo com maior heterogeneidade em sua constituição, pelo fato que além de uma edificação ser feita de diversos materiais que se misturam no momento da demolição, alguns materiais iguais, como concretos e argamassas, são de diferentes constituições se forem de sítios diferentes (ZORDAN, 2000). Um exemplo disso é que um concreto dosado, feito e regido por controle tecnológico gera um resíduo diferente de um concreto feito em obra sem inspeção nenhuma (OLIVEIRA E ASSIS, 1999).

A heterogeneidade do resíduo pode ser afetada também pela qualificação da mão-de-obra utilizada, as técnicas construtivas, o desenvolvimento tecnológico da construção civil na região, se há um programa de otimização dos processos e de recuperação de resíduos no canteiro (OLIVEIRA et al., 2004).

Em novas edificações, a variabilidade existe devido à programação da execução dos serviços, fazendo com que os materiais e as perdas descartadas sejam diferentes umas das outras em cada período. Nas manutenções, mesmo com as atividades demorando menos, há uma grande variabilidade de áreas e serviços sendo executados, diversificando os materiais descartados conforme o tipo de reforma. Quanto às tecnologias construtivas, a variabilidade existe devido aos materiais, à disposição e às técnicas utilizadas (ÂNGULO, 2000).

Devido à heterogeneidade em sua constituição, os resíduos de construção e demolição apresentam características diferenciadas em cada país, região e em casos mais peculiares, bairros de mesma cidade (CARNEIRO, 2005). Por exemplo, Pinto (1996) observa que a

presença de madeira no RCD americano e japonês é muito maior que no brasileiro. Já Harter-Freeman (1997) indicam a alta utilização de gesso pelos europeus e americanos.

Larrañaga (2004) analisa que o material com potencial reciclável no Brasil é maior do que o da Comunidade Europeia. Em seu estudo, demonstrou que 50% do RCD europeu é de material contaminante como papel, metal, terra, percentual muito mais alto que o correspondente no RCD Brasileiro.

Os principais fatores que determinam as características presentes nos agregados reciclados são a origem do material, o maquinário usado no beneficiamento, a metodologia dos ensaios e as técnicas usadas para retirar as impurezas (SANCHEZ, 2004)

Na literatura, se encontram diversas pesquisas comprovando a variabilidade dos resíduos de construção e demolição. Por exemplo Pinto (1987) analisou a constituição dos resíduos gerados nos canteiros de obra, demonstrando que 64% do RCD é argamassa, 30% cerâmica vermelha e 6% por diversos materiais como pedra, areia, metais, plásticos e concretos.

Vieira (2003) analisou a constituição dos resíduos de construção e demolição na cidade de Maceió, observando que 48,15% era material cerâmico, 27,82% era argamassa, 18,65% era concreto, 3,06% cerâmicas polida e 2,32% de diversos materiais, entre eles 0,48% de rochas naturais e 0,88% de telhas de amianto.

Leite (2001) fez uma análise da constituição dos resíduos na cidade de Porto Alegre. Observou-se que 15% era concreto, 28% era composto de argamassa, 26% era material cerâmico e os restantes 31% de outros materiais diversos. Sendo perceptível a variabilidade intrínseca ao lugar da coleta do material.

A composição do resíduo vai ser um fator determinante para sua reutilização. Normalmente, resíduos de material cerâmico podem ser reutilizados em aplicações gerais. Já resíduos de rochas naturais, argamassas e concretos, após uma seleção de qualidade, tem seu fim mais nobre como de agregado de novos concretos. Normalmente, os resíduos mistos em obra são reutilizados para argamassas (VIEIRA, 2003)

Zordan (1997) indicou que a variabilidade dos agregados de RCD pode interferir na resistência à compressão do concreto. Percebe-se a grande variabilidade apresentada pelo RCD reportada por

diversos estudos. Essa variabilidade tem efeitos negativos no comportamento dos novos concretos, podendo atrapalhar no aproveitamento desse material como agregado ou com algum outro fim.

É de suma importância as pesquisas visando diminuir a variabilidade do RCD. Pois a falta de entendimento das relações que regem a durabilidade do concreto com a utilização de RCD pode gerar uma diminuição da vida útil da edificação além de possíveis perdas materiais (LEVY, 2001). A fração mineral dos Resíduos de Construção e Demolição tem grande potencial de uso como agregados reciclados. Entretanto, nessa parcela há muita heterogeneidade dos materiais componentes, resultado direto da forma como esse resíduo é coletado e separado, comprometendo a obtenção de concretos homogêneos em suas características (CARRIJO; FIGUEIREDO, 2005).

2.2.4 Contaminantes presentes no agregado

Um dos grandes problemas no uso do agregado de RCD é a possível presença de impurezas/contaminantes. Esses materiais podem agir de maneira negativa sobre o concreto, causando danos às propriedades mecânicas (CORREA, 2014). Lima (1999) 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. Schultmann et al. (1997) demonstrou que a maioria dos contaminantes se encontram nas frações mais finas dos agregados.

2.2.4.1 Gesso

O gesso antes de passar pela calcinação, chamado de gipsita, apresenta dureza 2 na escala de Mohs e a densidade de 2,35, sendo um material pouco resistente e altamente solúvel em água (Lyra Sobrinho et al. (2001) Apud Jean Carlo, 2014). Ele apresenta resistências à compressão entre 4 MPa e 8 MPa, sendo resistências inferiores às do concreto (RODRIGUEZ, 2008).

O gesso forma a etringita secundária, a qual é um subproduto da hidratação dos componentes do cimento. A reação expansiva entre o aluminato tricálcico e o sulfato de cálcio em presença da água é responsável por sua origem (AGUIAR; SELMO, 2004). A formação de etringita secundária, pode ser prejudicial ao concreto pois é expansiva, podendo gerar fissuras internas

devido à geração de tensões internas (LEITE, 2001). Em concentrações iguais ou superiores de 1% da massa, já são prejudiciais a argamassas (GALLIAS, 1998).

Para evitar a contaminação do RCD pelo gesso, é ideal a retirada do gesso antes da britagem do material, pois se britado, ele será encontrado nas partículas finas do agregado, dificultando muito a sua retirada (LEITE, 2001).

2.2.4.2 Metais

Os metais presentes nos concretos podem gerar pequenos manchamentos à superfície do mesmo devido à corrosão (LEVY e HELENE, 1997). Hansen (1992) afirma que peças de Alumínio de diversas fontes podem causar, no estado endurecido, expansões internas no concreto, podendo acarretar em fissuras e, no estado fresco, desprendimento de hidrogênio.

O mesmo autor ainda argumenta que os metais podem ser removidos do resto dos resíduos de construção civil usando separação magnética ou manual, antes de qualquer britagem. Além disso, destaca que como são materiais dúcteis, eles não têm a tendência de se fragmentar, garantindo, assim, a possibilidade de fazer a extração durante o processo de beneficiamento (HANSEN, 1992).

2.2.4.3 Matéria orgânica ou solos argilosos

É usual a contaminação por matéria orgânica ou solos argilosos pelos resíduos de construção e demolição. Normalmente, são de difícil remoção após a contaminação do material, essa contaminação pode gerar perdas nas propriedades do concreto (HANSEN, 1992). A presença desses contaminantes nas frações mais finas, sendo a solução mais fácil o descarte dessa fração (QUEBAUD, 1996).

Quando o agregado é contaminado por argila, na forma de películas na superfície, pode prejudicar na aderência do agregado à pasta do cimento. O material orgânico não, necessariamente, precisa estar aderido ao agregado. Ele solto pode prejudicar aumentando a água de molhagem usada, devido ao aumento da área superficial (NEVILLE, BROOKS, 2014). HANSEN (1992) indica que o teor de matéria orgânica não pode ser superior à 0,15% da massa do agregado. Mehta e Monteiro (1994) afirmam que o agregado contaminado por partículas com massa específica menor que 2400 kg/m^3 pode afetar a trabalhabilidade, resistência à

abrasão e durabilidade do concreto. Além disso, os agregados contaminados podem não apresentar resistência a ciclos de gelo e degelo ou umedecimento e secagem (HANSEN, 1992).

Todos os tipos de contaminação não acontecem somente nos agregados de RCD mas também nos naturais, sendo assim possível utilizar a regulamentação existente para agregados naturais nos agregados de RCD. A descontaminação dos agregados não é fácil, podendo utilizar sprinklers, para lavagem, acima das correias transportadoras e peneiras (HANSEN, 1992).

2.2.4.4 Cloretos e sulfatos

Os sulfatos encontrados nos agregados podem ser originados de materiais do próprio concreto ou pela contaminação quando em contato com solos ou águas com abundância desse material. Dentre as possibilidades de sulfatos originários do próprio concreto estão a água de amassamento, os agregados e o próprio cimento (SOUZA; RIPPER, 1998).

Gesso é o composto de sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A reação química que inicia o processo ocorre com a hidratação do cimento, em que o sulfato de cálcio reage com o aluminato tricálcico (C_3A) e com o monossulfato hidratado ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{18}$) que estão no cimento, formando um novo sólido, a etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_{32}$) (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Estes autores acrescentam que:

Há uma concordância geral que as expansões no concreto relacionadas ao sulfato são associadas à etringita; entretanto, os mecanismos pelos quais a formação da etringita causa expansão são ainda um ponto de controvérsia. O esforço da pressão causada pelo crescimento dos cristais de etringita e a expansão devida à adsorção de água em meio alcalino pela etringita pouco cristalina, são duas das várias hipóteses apoiadas pela maioria dos pesquisadores.

A formação da etringita primária, começa dentro dos minutos iniciais após o contato do cimento com a água (TAYLOR, 1997). Neste estágio, devido da alta fluidez da pasta, a etringita não causa danos por expansão. A etringita secundária, devido ao seu teor altamente expansivo, é responsável pelo aumento de tensões internas, provável causador das fissuras no concreto após o endurecimento do concreto (LEITE, 2001).

Quando os teores de sulfatos variam entre 0,3 e 0,8% em massa, os sulfatos não produzem, necessariamente, efeitos prejudiciais às propriedades mecânicas nem expansões excessivas. Porém ao chegar em 1,2% em massa, o teor dos sulfatos nos ARCD pode ocorrer a expansão

crítica. No entanto, esse valor pode ser excedido quando o cimento apresentar pouca quantidade de C_3A . As consequências da grande presença de sulfatos são mais significativas quando usados agregados finos (GALLIAS, 1998).

Além da reação expansiva, os sulfatos, se forem reativos e estiverem em um meio saturado de cal, podem reagir, como o sulfeto ferroso, e oxidar formando sulfato ferroso, o qual ataca o concreto causando corrosão nas armaduras (CORREA, 2014).

Além dos sulfatos, os cloretos também podem provocar grandes problemas de corrosão de armaduras. A forma de contaminação por cloretos é pela penetração dos íons na estrutura, normalmente por fissuras ou poros abertos. Esse efeito é mais recorrente em áreas marinhas, em pontes e estruturas expostas a sais de degelo. Aditivos aceleradores de pega à base de cloretos são, normalmente, os responsáveis pela contaminação do concreto fresco (HANSEN, 1992).

2.2.4.5 Materiais betuminosos

B.C.S.J (1978) citado por Hansen (1992) apresenta que a contaminação por material betuminoso tem um grande efeito na resistência à compressão. Estima-se que a presença de material betuminoso pode reduzir em até 30% o valor da resistência à compressão. Além disso, este material pode ser responsabilizado por uma maior incorporação de ar no concreto (HANSEN, 1992).

No panorama brasileiro, os locais onde existe uma preocupação com a contaminação são onde ocorrem demolições de pavimentos asfálticos. O asfalto, segundo B.C.S.J (1978), citado por Hansen (1992), também significa em um decréscimo da resistência à compressão do concreto, sendo assim importante a retirada e a reciclagem desse material.

2.2.4.6 Vidros

Os vidros podem ser considerados como um contaminante com alto teor prejudicial pois eles podem causar reações álcali-sílica, a reação mais comum entre as álcali-agregado (HANSEN, 1992).

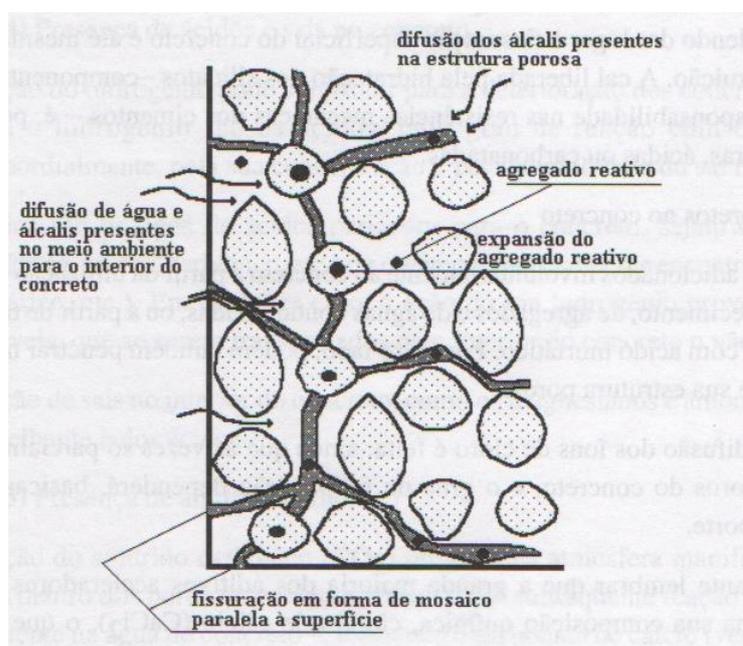
Segundo Valduga (2007), as reações álcali-agregado são a reação da sílica reativa, presente no agregado, com íons alcalinos (Na^+ e K^+) do cimento, gerando um efeito degradante ao concreto.

Sendo as sílicas mais comuns presentes em calcedônias, variedade de quartzo criptocristalino e em vidros tanto naturais como artificiais.

A reação começa no início da hidratação do cimento, com íons álcalis permanecendo em solução, ou seja, não se integram aos produtos de hidratação. Por isso, a solução, a qual se encontra nos poros no concreto, tem uma elevação de pH. Devido ao ambiente altamente cáustico criado, acontece a dissolução da sílica, presente no agregado, pelos íons hidroxila. Para manutenção do equilíbrio, os cátions de sódio e potássio (Na^+ e K^+) reagem com estas hidroxilas, formando gel como substrato (VALDUGA, 2007).

A reação tem início quando os hidróxidos alcalinos, provenientes dos álcalis do cimento, reagem com os silicatos. O gel álcali-silicato presente nos poros do concreto juntamente com a pasta de cimento, tem como característica expandir seu volume com água, normalmente confinada nos vazios do concreto ou na superfície externa, por meio de absorção direta ou por osmose. Esta expansão gera tensões hidráulicas nos poros, podendo acarretar na deterioração do concreto, sendo por fissuras ou por desagregação (NEVILLE; BROOKS, 2013). Na figura 1, está simplificada toda a situação.

Figura 1 Mecanismo de expansão por reação álcali-agregado



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998)

Valduga (2007) afirma que esta reação é completamente espontânea, ou seja, dependendo das condições de temperatura e pH, os produtos formados são mais estáveis que os reagentes. Sendo assim, após o início do processo, é inviável sua parada.

No caso do vidro, o tamanho das partículas, o tipo, a coloração e o percentual presente são variáveis da influência sobre a reação. Por exemplo, vidros escuros são menos reativos, sendo também, quanto maior a densidade, menor a reatividade do vidro. (MEYER et al., 1997; HANSEN, 1992).

Hansen (1992) alerta para a similaridade das densidades tanto do vidro como do concreto e agregados, sendo a separação desses materiais de uma certa complexidade.

Valduga (2007) afirma que devido a não existência de um método que garanta o fim das interações químicas envolvendo os álcalis e os agregados do concreto, seria de suma importância evitar ao máximo a ocorrência das reações. Porém, Terro (2006) constata a viabilidade da utilização de vidro como agregado em concreto, usando apenas as partículas mais finas que são as que causam menor expansão. Na Austrália, por exemplo, já é usado vidro como agregado miúdo (LOPEZ et al, 2005).

2.2.4.7 Outros contaminantes

Madeiras, tecidos têxteis, papéis e polímeros podem gerar instabilidades no concreto ao serem submetidos a ciclo de secagem e molhagem. Além disso, a presença deles no concreto pode significar uma redução da resistência. Como exemplo, as tintas PVA, além de reduzirem a resistência, elas podem influenciar numa maior incorporação de ar ao concreto (HANSEN, 1992).

2.2.5 Reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD)

A indústria da construção civil, historicamente, é caracterizada por ser uma grande geradora de agregados. Segundo Schulz e Hendricks (1992) os romanos já tinham uma noção de reciclagem de RCD pois utilizavam alvenaria britada para a produção de novos concretos.

Mesmo sendo em 1860, a primeira utilização de tijolos, como agregados, junto com cimento Portland para a fabricação de concreto, a utilização de RCD de maneira volumosa só foi percebida no final da Segunda Guerra Mundial. Isso se deve à grande demanda de material para a reconstrução das cidades destruídas e pela grande quantidade de escombros de destruição espalhados pelas cidades (SCHULZ E HENDRICKS, 1992).

Na Holanda, em 1984, após pesquisas e experimentos sobre a reutilização de RCD em concreto, formularam-se leis e regulamentações permitindo, entre outras, a classificação dos resíduos em agregados de concreto moído, agregados de alvenaria moída, agregados de mistura moído (ZORDAN, 1997).

A partir de 1988, a Comunidade Europeia começou a utilizar resíduos de concreto e alvenaria como agregados para grandes obras de concreto. Sendo um exemplo a eclusa da Hidrovia de Haandrick e a eclusa de Berendrecht (LEVY, 2001).

Pelos anos de 1990, as instâncias governamentais americanas começaram a regulamentar a disposição de resíduos de construção e demolição. Esse movimento, segundo Zordan (1997), gerou uma oportunidade única para que se monetizasse os entulhos das obras, reclinando-os e revendendo para as construtoras.

A reciclagem dos entulhos, além de racionalizar os recursos naturais, reduziu os custos dos aterros americanos. Na cidade de Los Angeles, em 1994, o custo da reciclagem do RCD era em torno de quinze dólares americanos por tonelada, sendo metade dos custos dos aterros (BYOCICLE, 1991).

Não se percebe um grande movimento na situação Brasileira. Os investimentos na área, por enquanto, estão limitados ao âmbito estatal, tendo como exemplo, o Programa de Reciclagem de Entulho da Cidade de Belo Horizonte, MG (Zordan, 1997). O programa trouxe benefícios econômicos e ambientais como esperado, porém não consegue vencer a quantidade de resíduos gerados. Atualmente, a prefeitura de Belo Horizonte conta com dois sítios de reciclagem, um na Pampulha e outro na área metropolitana.

Lovato (2007) demonstra a normalização internacional para agregados reciclados existente :

- a proposta japonesa de normalização da B.C.S.J., de 1977. Uma das mais antigas especificações para o uso de agregados reciclados, elaborada pela *Building Contractor Society of Japan, Committe on Disposal and Reuse of Construction Waste*;
- em 1986, conforme Nawa (2004), o Instituto de Pesquisa em Edificação do Ministério da Construção do Japão emitiu: (a) proposta de padrão de qualidade para agregado graúdo reciclado, (b) proposta de norma para concreto com agregado graúdo reciclado e (c) que para agregados miúdos reciclados, deve-se seguir a proposta de norma da B.C.S.J;
- a Norma Britânica 6543, de 1985 – Guia para a utilização de subprodutos industriais e resíduos de materiais de construção e engenharia civil;
- a Norma Holandesa do CUR – Comissão de desenvolvimento e pesquisa – para uso de agregado reciclado em concreto, de 1986 (LEITE, 2001);
- as diretrizes da RILEM TC 121 DRG apresentadas no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria, em 1993 (LEITE, 2001);
- o adendo à Norma Dinamarquesa regular de concreto, de 1995 (LEITE, 2001).

3 UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO CONCRETO

Para serem usados, os agregados reciclados devem atender algumas exigências de estabilidade, durabilidade, teor máximo de contaminantes, entre outros. Apesar de as características desses agregados dependerem de uma série de fatores, eles têm características marcantes como uma densidade menor e porosidade maior. A seguir estão comentadas as principais diferenças entre os agregados de origem natural e os agregados de resíduo de construção e demolição.

3.1 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

Metha e Monteiro (1994) afirmam que diversos tipos de agregados, independente da fonte, naturais ou reciclados, não possuem a mesma porosidade. Para a dosagem, é essencial saber a massa e o volume ocupado pelas partículas de agregado, inclusive a quantidade de poros internos. Com essas informações, torna-se possível a caracterização da massa específica, que é definida como a massa do agregado pela unidade volume, desconsiderando os vazios. Além disso, para a dosagem é importante saber também a massa unitária do agregado, a qual é definida como a massa do agregado pela unidade de volume, com os vazios. Essa propriedade tem relação direta com a distribuição granulométrica do agregado, pois é impossível “empacotar” todos os agregados juntos sem que haja criação de vazios entre eles, devido à forma dos agregados, impossibilitando um perfeito encaixe entre eles (CORREA, 2014).

Na literatura, existe um consenso que tanto a massa específica como a massa unitária são maiores em agregados naturais do que em agregados reciclados. Essa diferença de valores existentes é devida às diferentes matérias-primas dos agregados. Na massa unitária, a diferença de valores é responsabilidade da alta porosidade e formatos irregulares dos agregados reciclados. Na massa específica, a diferença, normalmente, se caracteriza pelos agregados reciclados serem menos densos que os agregados naturais. Devido as características intrínsecas do ARCD, os agregados reciclados demandam um maior volume de material de agregado para uma mesma dosagem em massa (CABRAL, 2007). Hansen (1992) afirma que os agregados reciclados de concreto apresentam valores mais baixos devido à adesão de argamassa antiga ao agregado.

As diferenças de valores entre as massas específicas e massas unitárias variam por diversos fatores como o material do agregado e a granulometria. Por exemplo, agregados reciclados de concreto de granulometrias com menor modo de finuras apresentam um valor de massa específica menor do que as granulometrias mais grossas, pois na britagem, a argamassa se desacopla da brita, devido a diferentes resistências, podendo se fragmentar em partes menores, gerando assim agregados de menores tamanhos (CORDEIRO, 2013).

Em Brito et al. (2005) analisa-se que para a mesma distribuição granulométrica de agregados reciclados de cerâmica vermelha, a massa específica e a massa unitária tem uma redução dos valores de 25% e 23%, respectivamente, comparado aos agregados naturais. Khalaf e DeVenny (2004) apresentam uma redução na massa específica de 30,9% para tijolos maciços e 21,1% para tijolos de dez furos, comparando-os com agregado natural de granito. Khaloo (1994) e Zakaria e Cabrera (1996) apresentam valores semelhantes de decréscimo da massa unitária para estes mesmos materiais, sendo 22% e 20,5% respectivamente.

Em agregados reciclados de concreto, a característica de redução se mantém, porém, numa escala menor, sendo a diminuição em números menores. Bairagi et al. (1993) e Limbachiya et al. (2000) encontraram uma redução de valores de massa específica em 13,6% e 12,5% e na massa unitária de 8,9% e 7,5% na comparação de agregados reciclados de concreto comparando com agregados naturais.

Sendo essas características variáveis, nota-se a importância de saber os valores dessas propriedades. Tendo em vista sempre realizar uma compensação de agregado reciclado, caso a dosagem seja feita em massa para concretos convencionais, para minimizar efeitos de diferença no volume produzido de concreto (Leite, 2001).

3.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA e POROSIDADE

A absorção da água pelo agregado pode variar de acordo com o estado de umidade no qual ele se encontra. Mehta e Monteiro (1994) definem:

Quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há nenhum filme de água na superfície, o agregado é dito estar na condição saturada superfície seca (SSS); quando o agregado está saturado e também há umidade livre na superfície, o

agregado está na condição úmida ou saturada. Na condição seca em estufa, toda a água evaporável do agregado foi removida pelo aquecimento a 100°C. Capacidade de absorção é definida como a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca em estufa para condição SSS; absorção efetiva é definida como quantidade de água requerida para trazer o agregado da condição seca ao ar para condição SSS.

A absorção da água é definida pela diminuição de massa de uma amostra saturada de superfície seca após a secagem em estufa por 24 horas (NEVILLE e BROOKS, c2013).

Existe uma proporcionalidade entre a absorção de água e a porosidade existente do agregado. Por isso, diversas propriedades do concreto, como resistência ao gelo e degelo, aderência entre o próprio agregado e a pasta de cimento, estabilidade química e resistência à abrasão são impactados pela quantidade de água absorvida. A velocidade de penetração da água no agregado depende do tamanho, volume e continuidade dos poros (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os agregados reciclados têm como característica serem mais irregulares, mais ásperos e porosos que os agregados naturais (RAVINDRARAJAH E TAM, 1987; CARNEIRO et al., 2001; ZAHARIEVA et al., 2003; TU et al., 2006). Sendo que nos concretos reciclados, os poros são, em média, 40% maiores do que os naturais. Essas características, influenciam diretamente a absorção de água (CORREA, 2014). Tam et al. (2005) indicam que quanto mais alto o grau de absorção de água, menores são a resistência, durabilidade, e maiores as deformações e retrações. Leite (2001) afirma que nos agregados reciclados, a relação água/cimento das misturas e a trabalhabilidade são influenciados pela absorção de água, podendo deixar o concreto muito seco.

Os limites de absorção máxima variam tanto de acordo com o material como com o lugar de origem do material. Para agregados miúdos e graúdos de concreto, segunda normas japonesas, podem ser no máximo, respectivamente, 13% e 7% (HANSEN 1992). Rilem (1994) impõe um limite máximo para agregados reciclados de cerâmica e concreto, sendo eles, respectivamente, 20% e 10%. A normativa brasileira, NBR 15116, já limita a absorção em 12% e 7% para agregados miúdos e graúdos de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Depende do material analisado, a variação da quantidade de absorção de água entre os agregados naturais e os agregados reciclados. Por exemplo, Hamassaki et al (1997) demonstram na tabela 2 a diferença de absorção entre agregados miúdos de diferentes constituições.

Tabela 2- Absorções em níveis diferentes para cada tipo de material.

Material	Areia natural	Bloco cerâmico	Tijolo	Bloco concreto
Absorção	0,7%	9,6%	17,4%	5,6%

Fonte: HAMASSAKI et al, 1997

Zaharieva et al. (2003) demonstram em estudos que a porosidade aumenta de 0,3% para 12,5% nos agregados reciclados graúdos. Desta forma, Gómez-Soberón (2002) indica a mesma situação, com um aumento de 14,1% da porosidade, porém utilizando somente agregados reciclados de concreto.

Para materiais cerâmicos, existe uma variação da quantidade de água absorvida de acordo com o material de origem. Khalaf e DeVeeny (2004) apontam uma relação entre o tipo de argila utilizada na confecção do artefato cerâmico, temperatura e queima com a porosidade e a absorção. A tabela 3 apresenta diversos estudos mostrando a absorção do material cerâmico.

Tabela 3- Absorção de água por material cerâmico

Material	AKHTARUZZAMAN e HASNAT (1983)	SCHULZ e HENDRICKS (1992)	VÁZQUEZ (2000)	PADMINI et al. (2002)	BRITO et al. (2005),
Absorção	11,2%	22-25%	14,4	18%	12%

Fonte: elaborado pelo autor.

Nagataki et al. (2000) afirmam que agregados reciclados de concreto provenientes de concretos de baixa resistência tem uma absorção maior do que os de concretos de alta resistência devido à matriz de cimento ter propriedades piores.

Devido à grande variabilidade do material de origem, cada material e ensaio apresentam valores diferentes. Na tabela 4 e 5, valores de absorção de água de agregado reciclado de concreto para agregados miúdos e graúdos.

Tabela 4- Absorção de água por agregado reciclado graúdo de concreto.

Absorção	RAVINDRARAJAH e TAM (1987a)	VÁZQUEZ (2000)	GÓMEZ-SOBERÓN (2002)	PADMINI et al. (2002)
Agregado Graúdo	5,68%	7,5%	6,3%	4,2%
	POON et al. (2002)	LIN et al. (2004)	XIAO et al. (2005)	RAHAL (2007)
Agregado Graúdo	7,5%	7%	9,3%	3,5%

(Fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 5- Absorção de água por agregado reciclado miúdo de concreto.

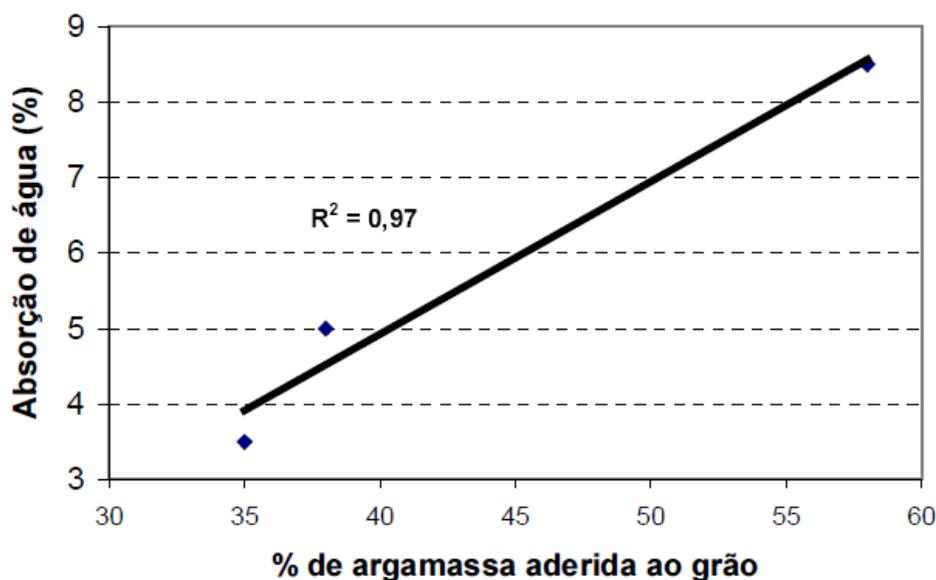
Absorção	RAVINDRARAJAH e TAM (1987 ^a)	Gómez-Soberón (2002)	POON et al. (2002)	LIN et al. (2004)	Evangelista e Brito (2007)
Agregado Miúdo	6,20%	8,16%	14%	11,9%	13,10%

(Fonte: elaborado pelo autor)

De acordo com Zaharieva et al. (2003), quando o tempo de absorção é pequeno, existe uma transferência da água absorvida pelos agregados reciclados para a pasta do cimento. Sendo assim, a resistência à compressão sofre mais impacto, em curas de pequena duração, em concretos convencionais do que em concretos com agregados reciclados.

Hansen (1992) constata que existe uma proporcionalidade entre a absorção de água e a quantidade de argamassa aderida ao grão de agregados reciclados de concreto. A figura 2 apresenta a relação entre quantidade de argamassa aderida em massa e absorção de água.

Figura 2 Relação entre argamassa aderida em massa e a absorção da água



(fonte: Hansen,1992)

Na literatura, encontra-se recomendações para uma pré-molhagem do agregado reciclado antes de sua utilização, pois o agregado pode absorver a água destinada à hidratação e trabalhabilidade do concreto. Com a utilização da pré-molhagem, compensaria os efeitos na hora de produzir o concreto (Lima 1999). Outros autores, ao comparar concretos feitos com agregados reciclados secos, semi-saturados e saturados, verificaram uma pequena perda de desempenho nos concretos de agregados secos e saturados. Mesmo assim, indicam que deveria ser feita uma saturação por imersão nos agregados (OLIVEIRA E VAZQUEZ, 1996).

Hansen (1992) afirma que para evitar uma possível perda de abatimento, é de suma importância a pré-molhagem dos agregados reciclados. Porém Leite (2001) afirma que uma possível compensação da taxa de absorção de água dos agregados para evitar uma grande presença de água sobressalente no concreto, poderia acarretar numa redução das propriedades mecânicas.

A norma NBR 15116 (ABNT, 2004), que estabelece requisitos para a utilização dos agregados reciclados em concreto sem função estrutural, também recomenda que seja feita a pré-molhagem, empregando valores em torno de 80% da taxa de absorção do agregado.

3.3 GRANULOMETRIA

Neville e Brooks (2013) definem granulometria como: “O processo de dividir uma amostra de agregado em frações de partículas de mesma dimensão é denominado análise granulométrica, e seu objetivo é determinar a graduação ou distribuição das dimensões do agregado”. Os concretos mais econômicos e de melhor trabalhabilidade são aqueles no qual a distribuição granulométrica é mais contínua, com dispersões pequenas de material grande e pequeno (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Quanto melhor graduada a granulometria do agregado, melhor será a trabalhabilidade do concreto, porém não existe uma composição perfeita devido ao fato de a trabalhabilidade estar relacionado com outras variáveis como a área superficial do agregado, quantidade de finos, relação água/cimento (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Mesmo a granulometria sendo importante para a trabalhabilidade do concreto, ela não deve ser usada como critério de seleção do agregado. Pois, dentro da literatura não se encontra uma uniformidade de pensamentos sobre a granulometria ideal a ser usada tanto para agregados naturais como para os reciclados (LEVY, 2001).

Para os agregados reciclados, é ainda mais inconstante a curva granulométrica pois ela vai depender do tipo de resíduo beneficiado, do método de beneficiamento e da granulometria existente do resíduo original. Por isso, cada agregado reciclado acaba por ter a sua própria curva característica granulométrica, impossibilitando de se fazer uma curva genérica para todos os ARCD (LIMA, 1999).

A mudança de granulometria do agregado, mesmo mantendo a relação água/cimento e não alterando a dimensão máxima característica do agregado, pode interferir na resistência à compressão do concreto caso interfira em alguma outra propriedade como consistência e característica de exsudação da mistura do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

3.4 FORMA , TEXTURA E ABRASÃO

A forma do agregado, deve ser entendida como sua geometria tridimensional. Porém, devido à difícil representação dos agregados, a classificação é feita sobre elementos como irregularidade, dimensão máxima, alongamento, angulosidade, achatamento (ISAIA, 2002).

Forma e textura tem um iMPacto bem maior nas propriedades do concreto no estado fresco (MEHTA.MONTEIRO, 1994).

Mehta e Monteiro (1994) classificam os agregados pelas características geométricas da seguinte maneira:

- a) arredondado – formado por atrito, as partículas tendem a ser arredondadas, também podem ser desgastadas pela ação das águas, ex.: areias de origem eólica, seixo de rios e pedregulhos de zonas marítimas;
- a) anguloso – possuem arestas bem definidas, ex.: pedras britadas de rochas intrusivas e escória britada;
- c) lamelar – a espessura é menor que as outras dimensões, ex.: pedras britadas de calcário estratificado, de arenito e de folhetos;
- d) alongado – o comprimento é consideravelmente maior que as outras dimensões;
- e) irregular – formado pelo atrito com partículas arredondadas ou apresentam-se naturalmente irregulares.

As características do agregado podem ser definidas pelo índice de forma, o qual é a média da relação entre o comprimento e a espessura das partículas, sempre obedecendo os limites estabelecidos pela norma. O limite superior estabelecido pela NBR 7809 (2009) e 7211 (2005), para concretos, é 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Neville e Brooks (2013) indicam que para uma maior trabalhabilidade do concreto, os agregados devem apresentar valores baixos da relação entre a área superficial e o volume.

Mehta e Monteiro (1994) classificam que textura dos agregados é a característica que os mesmos apresentam em sua superfície, quantificando quão áspera ou lisas. Os autores, também indicam que a textura pode afetar a resistência do concreto nas primeiras idades pois a aspereza do agregado ajuda na aderência entre o próprio agregado e a pasta de cimento. Nas idades mais avançadas, isso não ocorre, pois já existe uma forte aderência química entre as partículas.

Por característica, os agregados reciclados apresentam uma textura mais rugosa e porosa do que os agregados naturais porque o agregado reciclado de concreto apresenta argamassa aderida a sua superfície (COUTINHO, 2000).

No caso dos agregados reciclados, uma variável do coeficiente de forma é o tipo de britagem pelo qual o agregado passou. Por exemplo, os britadores de iMPacto geram agregados com características piores que o britador de mandíbulas (MARMASH, 2000).

Fonseca (2007) indica que o material presente no RCD, como exemplificado na tabela 6, e o equipamento de britagem são fatores importantes para o formato final do agregado, anguloso ou lamelar. Por exemplo, o britador pode aumentar a quantidade de argamassa aderida aumentando a superfície específica de agregados de concreto com forma irregular.

Tabela 6- Índice do formato de diferentes materiais.

FASES	FORMA DOS GRÃOS	
	Esfericidade	Arredondamento
Areia natural	0,9/0,7	0,7/0,5
Bloco cerâmico	0,5/0,3	0,5/0,3
Tijolo	0,7/0,5	0,7/0,5
Bloco de concreto	0,9/0,7	0,7/0,5

(fonte: Hamassaki et al.,1997)

Gonçalves e Neves (2003) indicam que os melhores resultados de ARCD são produtos da combinação de uma britagem de mandíbula seguida por de uma britagem giratória. Isso é devido ao fato de os britadores de mandíbulas geram partículas, principalmente, angulares enquanto o britador giratório tem como característica partículas arredondas como produto.

3.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Mehta e Monteiro (1994) afirmam que a trabalhabilidade do concreto está relacionada com a facilidade de mobilidade das partículas e com a resistência à segregação ou à exsudação, sendo estas características muito dependentes de fatores como o consumo de água, consumo de cimento e das características dos agregados.

O agregado reciclado tem sua maior influência na trabalhabilidade do concreto no estado fresco pois ele apresenta uma taxa maior de absorção de água, textura mais áspera e um formato mais irregular. Devido à diminuição da trabalhabilidade causada, aumenta a demanda de água na mistura, o que pode afetar outras propriedades do concreto (LEITE, 2001).

Leite (2001) observou que concreto com somente a presença de agregado miúdo reciclado apresenta valores de abatimentos melhores do que quando são acrescentados agregados graúdos

reciclados. A autora também afirma que a combinação de baixas relações água/cimento com altos teores de finos junto com uma grande parte da fração de agregados miúdos apresenta os maiores abatimentos.

Rashwan e AbouRizk (1997) demonstraram resultados nos quais a trabalhabilidade do concreto, estimada pelo abatimento do tronco de cone, com agregado reciclado era a metade do com agregado natural. Segundo os autores, devido à falta de material fino e à grande absorção de água. Hansen (1992) observa que para atingir a mesma trabalhabilidade, é necessária uma adição de 5% de água nos concretos de agregados graúdos reciclados em relação ao natural. Em uma comparação entre agregado miúdo e graúdo, a diferença chega a ser 15%.

Katz (2002) avaliou que agregados reciclados mais antigos tem uma pior trabalhabilidade em relação aos agregados reciclados mais novos, devido à falta de finos suficientes nos agregados antigos.

Leite (2001) afirma que mesmo apresentando valores mais baixos de abatimento, ao serem compactados, os concretos de agregado reciclado apresentam um aspecto satisfatório e bem-moldável.

3.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.6.1 Resistência à compressão

Diversos autores (RAVINDRARAJAH e TAM, 1987; HANSEN, 1992; BAIRAGI et al., 1993; AJDUKIEWICZ e KLISZCZEWICZ, 2002; GÓMEZSOBERÓN, 2002, 2003; KATZ, 2003; ZAHARIEVA et al., 2003; TOPÇU e SENDEL, 2004; XIAO et al., 2005; RAKSHVIR e BARAI, 2006; TU et al., 2006; RAHAL, 2007; XIAO e FALKNER, 2007) estudaram o comportamento de concretos com agregados reciclados sobre a resistência à compressão. Em geral, foi observado, uma menor resistência do concreto com agregados reciclados comparado a um concreto usando agregado natural, mantendo mesmo consumo de cimento. Sanchez (2004) afirma que isso pode ocorrer devido a menor resistência do agregado reciclado, maior porosidade do agregado reciclado de concreto devido à argamassa aderida ao agregado natural, entre outros. Dados dos autores acima indicam que a redução de resistência mecânica pode chegar a 45%.

No entanto, alguns autores (HANSEN, 1992; LEITE, 2001; AJDUKIEWICZ e KLISZCZEWICZ, 2002; VIEIRA, 2003; KHATIB, 2005) demonstram que a resistência pode aumentar na utilização de agregados reciclados, podendo chegar a ser 33% maior do que o concreto referência.

Essa discrepância de resultados pode ser explicada por algumas variáveis intervenientes como o método de beneficiamento do agregado, a sua composição, a forma de reprodução, se houve a pré-molhagem, a presença de aditivo, as diversas relações a/c, entre outros (CORDEIRO, 2013).

Para os agregados reciclados de concreto, Ferreira (2007) afirma que a porosidade dos agregados reciclados se encontra na zona de transição pasta-agregado, onde encontra-se a matriz cimentícia. Já Sanchez (2004) demonstra que o agregado natural apresenta apenas uma zona de transição enquanto o agregado reciclado apresenta duas, uma entre o agregado natural e o concreto/argamassa antiga e uma entre essa camada antiga e o concreto novo.

Cabral (2007) afirma que a qualidade do agregado reciclado influenciará a resistência do concreto somente quando a matriz cimentícia do concreto novo for mais resistente que o agregado reciclado. Caso isso não ocorra, o rompimento do concreto se dará pela matriz do concreto, independentemente do tipo do agregado usado.

No caso específico para concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, quando o concreto apresenta alta relação água/cimento, a resistência do RCD de concreto não tem demasiada influência. Porém quanto mais alta fica a resistência do concreto, maior a importância da resistência do concreto do agregado (CABRAL, 2007). Hansen e Bøegh (1985) e Hansen e Narud (1983) comprovam isso ao realizar testes com agregados reciclados em concretos de alta, média e baixa resistência, sendo que a influência do agregado foi mais visível em concretos de alta resistência.

Outra variável que influencia na utilização do agregado reciclado é a relação água/cimento. Otsuki e Miyazato (2000) demonstram que as maiores diferenças de resistência dos concretos de agregados diferentes, reciclado e natural, aparecem quando a relação água/cimento diminui. Ryu (2002b) indicou que as resistências de concretos de diversos agregados reciclados foi praticamente a mesma quando a relação água/cimento foi de 0,55. Enquanto que quando a

relação água/cimento foi de 0,25, os concretos com agregados reciclados de menor resistência apresentam menores resistências à compressão. Masce et al. (2003) comparando agregados reciclados e agregados naturais, demonstram que as resistências dos concretos não sofrem alterações quando a relação água/cimento varia entre 0,40 a 0,70. No entanto, quando a relação foi de 0,25, a resistência do concreto de agregado reciclado apresentou um decréscimo significativo.

Leite (2001) afirma que os agregados reciclados apresentam uma melhor relação com a matriz de cimento do que os agregados naturais devido a, normalmente, uma maior angulosidade e uma maior rugosidade, ajudando em uma melhor aderência entre a pasta e o agregado. Além disso, por realizar uma maior absorção da pasta de cimento, os cristais de hidratação têm uma maior precipitação nos poros entre a pasta e o agregado, aumentando a aderência na zona de transição.

Pesquisadores (OTSUKI e MIYAZATO, 2000; KOKUBU et al., 2000; NIGATAKI et al., 2000; RYU, 2002b; MASCE et al., 2003) corroboram que a maior influência da qualidade do agregado reciclado aparece quando a relação água/cimento é baixa. No caso, eles demonstram que as duas zonas de transição só exercem influência sobre a resistência nos casos de baixos valores da relação água/cimento.

Otsuki e Miyazato (2000) afirmam que quanto maior a resistência do concreto originário do agregado reciclado, maior será a resistência da zona de transição confeccionada com o agregado reciclado. No entanto, para uma mesma relação água/cimento, a resistência na zona de transição é a mesma, até para agregados naturais.

Ravindrarajah e Tam (1987a) afirmaram que os agregados miúdos reciclados exercem uma menor influência na resistência à compressão do que os agregados graúdos, sendo que quando feito uma substituição total entre eles, o aumento foi de 10%. No entanto, Ujike (2000) e Kokubu et al. (2000) demonstraram que em agregados reciclados de concreto, os agregados miúdos afetam mais a resistência à compressão. Hansen (1986) demonstrou que um concreto com 50% de agregado natural e 50% de agregado reciclado miúdo apresentou uma resistência 15% menor do que um concreto feito 100% de agregado natural. Ao realizar o mesmo concreto com 100% de agregado reciclado miúdo, a resistência diminuiu entre 20 e 40%. Hansen (1992)

e Kokubu et al. (2000) apresentam que concretos feitos com 100% de agregados reciclados graúdos têm uma queda na resistência de 30% e 23,3% respectivamente, ao serem comparados com um concreto feito somente com agregado natural.

Hansen (1992) indica que para se manter a mesma resistência do concreto convencional, são necessários pelo menos 5% a mais de cimento quando se realiza somente a substituição do agregado graúdo. Quando ambos agregados são substituídos, esse teor adicional sobe para 15%.

A presença de contaminantes interfere na resistência do concreto. Na tabela 7, Hansen demonstra o volume percentual dos contaminantes para significar em uma redução de 15% da resistência à compressão.

Tabela 7-Volume percentual de impurezas que reduzem a resistência à compressão em 15% quando comparados com os concretos de referência.

Impurezas	Solo	Madeira	Gesso Hidratado	Asfalto	Pintura PVA
Volume Percentual do agregado	5	4	3	3	0,2

(fonte: HANSEN,1986)

3.6.2 Módulo de Elasticidade

Saber as características de elasticidade de um material é extremamente importante, pois elas são indicadores da rigidez do mesmo. Mehta e Monteiro (1994) definem que o limite da elasticidade de um material em um projeto estrutural representa a deformação máxima permitida antes de o material adquirir deformação permanente, ou seja, ele indica as flechas máximas admissíveis, sabendo assim o grau de fissuração da estrutura.

O módulo de elasticidade é dependente das três fases do concreto: pasta, agregado e zona de transição. As características dos agregados mais influentes no módulo de elasticidade são a dimensão máxima, forma, textura superficial e composição mineralógica (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Porém, quando se refere ao agregado reciclado, mais um fator é importante, que é a porosidade, pois ela influencia na rigidez do material, a qual controla a capacidade do agregado de restringir deformações da matriz (CORREA, 2014).

Hansen (1992) demonstra que existe uma diminuição dos valores de módulos de elasticidade em concretos com agregados reciclados, variando entre 15 e 40%. O próprio autor salienta que quanto maior for a resistência do concreto, maior a diferença entre os valores.

Corroborando com Hansen, Ujike (2000) afirma que a redução no módulo de elasticidade é mais perceptível a medida que à relação água/cimento baixa. No entanto, Xiao et al.(2005) demonstram que a curva tensão-deformação para os concretos com agregados reciclados se equipara à curva do agregado natural independentemente da quantidade de agregado natural substituído por reciclável.

A tabela 8 apresenta os percentuais de diminuição do módulo de elasticidade, quando acontece a substituição total de agregado natural por agregado reciclável, segundo diversos autores.

Tabela 8- Diminuição do valor do módulo de elasticidade em concretos de agregados recicláveis em comparação à concretos de agregados naturais

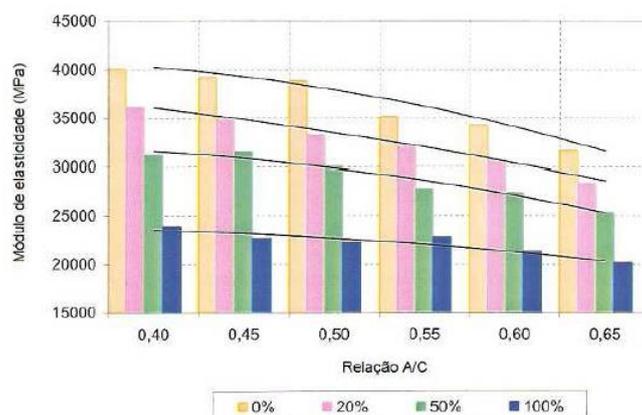
Hansen (1992)	Etxberria (2007)	Evangelista (2007)	Casuccio (2008)	Alaejos et al. (2006)	Gomez (2007)
15% a 40%	15%	19%	13% a 18%	20%	30%

(fonte: elaborado pelo autor)

Levy (1997) indicou que essa diminuição é decorrente da camada de argamassa antiga aderida do agregado reciclado de concreto, pois essa argamassa adicionada propicia maiores deformações aos concretos, conseqüentemente, menores módulos.

Arias (2012) indicou que uma substituição de agregado natural por agregado reciclável em uma taxa de no máximo 20% não apresenta nenhuma mudança significativa nos valores do módulo de elasticidade. Sanchez (2004) verificou que existe uma proporcionalidade direta entre a taxa de substituição e o decréscimo do valor do módulo, sendo perceptível isso na figura 3.

Figura 3- Proporção entre módulo de elasticidade e a relação água/cimento



(fonte: SANCHEZ, 2004)

Além disso, Hansen (1992) afirma que a substituição somente de agregado reciclado graúdo ou miúdo diminui menos o módulo de elasticidade do que a substituição conjunta dos dois.

4 BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO

A situação ideal para o reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição seria que não fosse necessário nenhum tipo de beneficiamento. No entanto, como estes materiais normalmente vêm em grandes dimensões, torna-se imprescindível realizar algumas operações de beneficiamento.

Segundo Leite (2001), para a implantação de um programa de reciclagem dos RCD, é importante a instalação de uma usina de reciclagem. Angulo et al. (2003) afirmam que, de uma forma simplificada, a reciclagem é um beneficiamento mineral. Este é um conjunto de operações unitárias cujo objetivo é obter características específicas de um material. As operações unitárias são de quatro tipos: de cominuição, de separação por tamanho, de concentração e auxiliares (CHAVES, 1996).

4.1 Cominuição

Ângulo (2005) afirma que operações de redução de tamanho, também intituladas cominuição, tem como finalidade a redução do tamanho das partículas para o transporte ou seu uso final. As operações podem ser de dois tipos: moagem e britagem. Devido à necessidade de equipamentos robustos, grande gasto energético e grande desgaste do maquinário, essas operações apresentam um custo elevado. O autor também afirma que somente a britagem é utilizada na fração mineral do resíduo de construção e demolição, normalmente a seco, podendo ser repetida inúmeras vezes.

Leite (2001) enfatiza que o tipo de britador é diretamente responsável pela maior parte das propriedades apresentadas pelos agregados. A seguir são apresentados alguns tipos de britadores e suas características.

4.1.1 Britador de iMPacto

O britador de iMPacto possui uma câmara de iMPacto na qual o material é britado através de choques de barra maciças fixadas por um rotor e pelo choque com placas fixas (LIMA, 1999). Esse tipo de britador pode ser utilizado na britagem primária e na secundária, sendo sua maior

utilização para materiais de baixo índice de abrasão, mas não impedindo o uso com materiais como concreto armado, granito e basalto (FAÇO, 1985). Hansen (1992) acrescenta que o britador de iMPacto gera a melhor distribuição granulométrica para agregados com finalidade de pavimentação.

Dentre suas principais características são a alta produtividade, produção de materiais cúbicos com boas características mecânicas e alta porcentagem de finos, além de serem silenciosos e robustos (FAÇO, 1985).

Dentre as desvantagens apresentadas estão o alto custo de manutenção e operação, além de não britarem madeiras e aço (HANSEN, 1992).

4.1.2 Britador de mandíbula

Os britadores de mandíbula fraturam o material pela compressão, normalmente em uma câmara em formato V, por um movimento periódico de uma superfície fixa com uma móvel (TELLES, 2006).

O britador de mandíbulas é utilizado para materiais extremamente resistentes, tendo um desgaste de peças baixo. Além disso, também é uma solução boa para material argiloso devido a fácil operação e baixo custo operacional (FAÇO, 1985). Ainda, o autor destaca dentre as vantagens a alta produção, a uniformidade e a alta resistência mecânica.

Lima (1999) aponta que esse tipo de britador não pode processar resíduos metálicos e madeiras de grandes dimensões, tendo , também, uma alta emissão de ruído. Por gerar pouco material nas faixas mais finas, exige a necessidade de um britador secundário, aumentando o custo do processo.

4.1.3 Moinho de martelo

São usados para materiais de baixa abrasividade, principalmente calcários e dolomitas (FAÇO, 1985). O moinho funciona a partir da colisão dos martelos girando a alta velocidade, além da colisão do próprio material com as placas de iMPacto. Devido à grande geração de finos e grande consumo elétrico, normalmente não são muito usados (LEVY, 1997). Lima (1999) demonstra

que este tipo de britador é usado como um britador secundário do britador de mandíbulas por suas características se complementarem.

4.1.4 Rebritadores de cones ou Cones de britagem

Beneficiando apenas material previamente britado, o britador de cones funciona esmagando as partículas nas paredes de um cone (LEVY, 1997). Por característica do equipamento, só funciona com partículas menores que 200mm (HANSEN, 1992). O britador de cone gera grãos cúbicos, porém, junto com uma grande quantidade de finos. A principal desvantagem desse tipo de equipamento é não ser indicado para RCD por ser muito sensível a materiais metálico (FAÇO, 1985).

4.1.5 Rebritadores de rolos ou Britador de rolo

Os britadores de rolo são utilizados para britagem secundária e especialmente para produção de finos. Seu funcionamento acontece pelo esmagamento das partículas entre dois cilindros que giram em sentidos opostos (LANZELLOTTI, 2005). O britador de rolo tem uma facilidade única para moer materiais contendo finos e úmidos. Existe um limitante do tamanho do material, sendo três vezes maior que a abertura entre os rolos.

4.2 SEPARAÇÃO POR TAMANHO

Durante o processo de peneiramento, a camada material tende a desenvolver um estado fluido, mesmo a classificação sendo através dos processos de estratificação e de separação. A estratificação é o processo na camada material, no qual a vibração faz com que as partículas maiores subam para a parte superior da camada ao mesmo tempo que as menores se encaminham para a parte inferior. Já o processo de separação é a passagem das partículas pequenas para as camadas mais baixas por aberturas e as partículas maiores ficando na mesma camada (FAÇO, 1985).

Esses dois processos de separação de partícula podem ser feitos por peneiras ou separadores hidráulicos ou pneumáticos. O peneiramento poderá ser feito tanto úmido quanto a seco. Sendo a separação úmida muito mais eficaz. Já os separadores pneumáticos geram uma corrente de ar

ascendente separando as partículas leves como: papel, plástico e madeiras dos agregados reciclados (ANGULO, 2005)

4.3 CONCENTRAÇÃO OU LAVADORES

As operações de concentração servem principalmente para remover contaminantes dos ARCD, usando as diversas propriedades físicas dos minerais presente como densidade, forma, propriedades elétricas e magnéticas. Entre elas, diversas podem ser feitas unitariamente como catação, separação magnética, separação por meio denso e flotação (Angulo et al. 2003).

Lavadores também são usados com o objetivo de remover contaminantes, principalmente particulados finos e materiais orgânicos. A lavagem também é usada para classificação de materiais finos e úmidos, pelo peneiramento ser de difícil execução a seco. A lavagem pode ser tanto mecânica, em peneiras vibratórias, como manualmente, em tambor (FAÇO, 1985).

4.4 OPERAÇÕES AUXILIARES

Para complementar o processo são necessárias algumas atividades auxiliares como transporte, secagem e homogeneização do material, normalmente por meio de pilhas (Ângulo, 2005).

5 MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

A grande variabilidade em sua composição, ou seja, em suas propriedades como granulometria, massa específica, porosidade, é um grande limitante na utilização dos agregados de construção e demolição. Essa variabilidade pode acarretar em mudanças de comportamento do concreto que ainda não são conhecidas (ÂNGULO, 2000).

Como já referido anteriormente, a grande variabilidade é resultado dos materiais e de seus lugares de origem. Sendo a variabilidade dos agregados maior que a dos próprios resíduos pois acrescenta na equação o tipo de beneficiamento utilizado (ÂNGULO, 2000).

Ângulo (2005) afirma que o melhor parâmetro para separação de ARCD seria a porosidade, pelos seus efeitos na resistência mecânica e durabilidade dos concretos. Portanto, a separação por densidade é eficaz pois faz a separação em função da massa específica aparente das partículas.

Dentre os métodos utilizados, os de melhor eficácia para separação por densidade são os Jigues e o “Método dos Líquidos”.

5.1 JIGUE

SaMPaio e Tavares (2005) definem o processo de jigagem como um processo de separação hidráulica por meio de expansão e contração vertical de um leito de partículas pelo movimento pulsante da água, resultando na estratificação do leito por camadas em ordem crescente de densidade do fundo ao topo do jigue.

Mesmo a teoria o processo sendo criado utilizando a água como meio fluido, a jigagem é um método que utiliza a separação gravitacional, ou seja densidade, conseqüentemente, podendo ser feita a seco também, principalmente nos casos que a molhagem do material pode afetar o beneficiamento do mesmo (SAMPAIO E TAVARES, 2005).

O método de jigagem a seco apresenta algumas vantagens como a dispensa do uso dos processos de filtragem e secagem, além de uma maior produtividade, pois as partículas têm uma velocidade de sedimentação muito maior no ar do que na água (SAMPAIO E TAVARES, 2005).

Todavia, o método de jigagem a ar apresenta algumas limitações, sendo elas a baixa precisão de separação e uma sensibilidade significativa à umidade. A eficiência dos separadores pneumáticos é de uma efetividade menor do que o método úmido, além de apresentar problemas como granulometrias muito pequenas, como por exemplo partículas de carvão de 0,6mm (SAMPAIO E TAVARES, 2005).

5.1.1 Teorias Base da Jigagem

SaMPaio e Tavares (2005) apontam que existem duas teorias para explicar o funcionamento do método do jigue. A teoria da energia potencial, a qual explica o comportamento do leito de partículas como um todo, e a teoria hidrodinâmica, a qual explica o comportamento característico de cada partícula no fluido.

5.1.1.1 Teoria Hidrodinâmica

A teoria hidrodinâmica sugere que três fenômenos durante o processo são responsáveis pela estratificação ocorrida, sendo eles a sedimentação retardada diferencial, a aceleração diferencial no início da queda e a consolidação intersticial durante a sucção (GAUDIN, 1939 apud SAMPAIO e TAVARES, 2005).

5.1.1.1.1 Sedimentação retardada diferencial

Segundo SaMPaio e Tavares (2005), uma partícula em sedimentação livre em um fluido é acelerada até atingir sua velocidade terminal, a qual é a máxima velocidade devido à aceleração gravitacional. Com isso, Rittinger (1980) igualou as velocidades máximas atingidas por duas partículas diferentes, formando o conceito de razão de sedimentação. A razão de sedimentação é um índice para saber a facilidade de separação das partículas, na qual quanto menor a razão de sedimentação, menor a facilidade para separá-las por densidade.

5.1.1.1.2 Aceleração diferencial

Devido à influência das paredes e das outras partículas, as partículas no jigue percorrem apenas pequenas distâncias em pequenos tempos antes de serem interceptadas. Devido a isso, a maior parte do tempo elas sofrem acelerações e desacelerações. Como a aceleração diferencial tem uma relação direta com a densidade das partículas, o tamanho não exerce nenhuma influência no mecanismo. Para que o tamanho dos grãos influencie, é necessário um alto tempo de sedimentação. Por isso, a utilização da aceleração diferencial para separação das partículas impõe um tempo pequeno de movimento com uma alta quantidade de ciclos de deslocamento (SAMPAIO e TAVARES, 2005).

5.1.1.1.3 Consolidação Intersticial

Barcelos (2010) afirma que as partículas percorrem distâncias diferentes para cada período de queda a que são submetidas, entrando em repouso em momentos diferentes. Os grãos mais finos, em função de suas menores velocidades de sedimentação, entram em repouso depois das partículas maiores, podendo percolar entre os vazios deixados pelos grãos de maior dimensão, continuando assim a sedimentação. Devido a isso, a consolidação intersticial é de difícil quantificação (SAMPAIO e TAVARES, 2005).

5.1.1.2 Teoria potencial

Mayer (1964) indicou que existe uma diferença de energia potencial gravitacional dos estados totalmente misturados e estratificados com relação à densidade, e essa diferença de energia é a responsável pela separação.

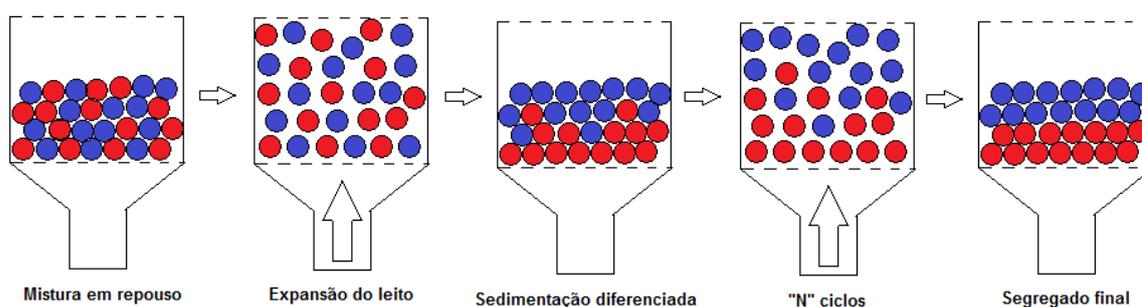
A teoria potencial afirma que todo leito de partícula possui uma energia potencial, com a dispersão do leito e redistribuição de partículas de diferentes densidades, essas se movem no sistema em busca de um rearranjo de energia mínima, resultando na estratificação das partículas (BARCELOS, 2010). Quanto menor a diferença de densidades das partículas e menos próximas as suas proporções volumétricas, mais difícil será a separação no jigue (SAMPAIO E TAVARES, 2005).

Dessa maneira, é de conhecimento geral que a jigagem é um método muito complexo devido a grande quantidade de variáveis que possui interferindo no processo.

5.1.2 Jigue a Ar

SaMPaio e Tavares (2005) indicam o funcionamento do jigue como o equipamento que gera uma corrente de ar pulsante, promovendo ciclos de contração e expansão vertical das frações de material. Devido a movimentação das partículas, acontece a estratificação do leito, separando as camadas por densidade. A figura 4 ajuda a esclarecer o funcionamento.

Figura 4 - Funcionamento de um Jigue a ar



(fonte: manual AllAir S-500 *apud* Zortea, 2014)

SaMPaio e Tavares (2005) afirmam que a densidade do ar não influencia no processo e sim a velocidade da corrente de ar que mantém as partículas suspensas. Tanto velocidades muito baixas como muito altas geram problemas na estratificação do leito, a primeira por não promover a movimentação ideal das partículas e a segunda por gerar turbulências exageradas. Os autores afirmam também que a frequência e amplitude das pulsações do jigue devem garantir a devida separação das partículas, após o golpe de impulsão, e que voltem ao repouso completo no leito.

5.2 MÉTODO DOS LÍQUIDOS

No anexo B da NBR15116 (ABNT, 2004) é recomendado a utilização de líquidos densos para determinação do percentual de fragmentos não minerais presentes nos agregados reciclados, ou seja, um método de separação por densidade.

Carrijo e Figueiredo (2005) introduzem um método de separação por densidade, utilizando apenas líquidos orgânicos, solutos de sais inorgânicos ou misturas heterógenas com densidades pré-estabelecidas. Esse método é eficaz apenas em pequenas quantidades devido ao grande custo de aplicação dos líquidos orgânicos, os quais, normalmente, são tóxicos. Para utilização em grande escala, o uso de magnetita ou de partículas de ferro silício em água é mais indicado.

Um dos procedimentos utilizando líquidos densos é conhecido como “afunda-flutua”, o qual utiliza líquidos de diferentes densidades para separar algum material em frações densimétricas.

O procedimento consiste na colocação de um material num recipiente com um líquido de densidade conhecida, separando a fração flutuada e afundada. A seguir, é repetido o procedimento com a fração afundada, porém em um líquido mais denso. Repetindo o procedimento até chegar numa separação adequada. Após cada etapa, as frações do material devem ser lavados com solvente para evitar alguma contaminação do líquido denso aderido (SAMPAIO e TAVARES, 2005).

Para o método de “afunda-flutua”, os líquidos mais usados são líquidos orgânicos halogenados, por abrangerem uma grande gama de densidades. Dentre entre eles, os mais usados são o bromofórmio, o tetrabromoetano e o diiodometano (SAMPAIO e TAVARES, 2005).

O ensaio depende da característica do agregado para escolher se vai ser feito de forma crescente ou decrescente de densidade dos líquidos. Quando a maior parte do material for de material pesado, é indicado o método decrescente, porém quanto mais denso o líquido, maior o custo normalmente. A figura 5 ilustra o procedimento, pelo método crescente, utilizando cinco líquidos com densidades relativas entre 1,3 e 2,4 g/cm³.

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Visando alcançar os objetivos propostos, o programa experimental elaborado contempla a determinação das propriedades mecânicas para comparação para uso de agregado reciclado.

6.1 MATERIAIS

6.1.1 Agregados Naturais

6.1.1.1 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita de origem basáltica. O agregado foi previamente lavado e seco ao ar. A distribuição granulométrica foi realizada conforme preconiza a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O módulo de finura e a dimensão máxima característica foram determinados segundo a NBR NM 248. O presente agregado tem suas características físicas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9– Característica físicas do agregado.

Malha	Retido	%	% Retido acumulado
19 mm	570,3	11	11
12,5 mm	3807,8	76	87
9,5 mm	571,6	11	99
6,3mm	52,2	1	100
4,8mm	0,0	0	100
Fundo	0	0	100
	5001,9	100,0	495
Diâmetro máximo			25 mm
Módulo de Finura			7,10

(fonte: elaborado pelo autor)

A brita utilizada apresenta módulo de finura 7,10 e uma massa unitária segundo a NBR NM 45 de 1595 kg/m³.

6.1.1.2 Agregado Miúdo

No presente trabalho foi utilizada areia quartzosa média. O agregado antes de ser utilizado foi seco ao em ambiente de laboratório. A distribuição granulométrica foi realizada conforme preconiza a NBR NM 248, junto com o módulo de finura e a dimensão máxima característica. O material apresenta um módulo de finura de 2,35 e tem sua característica física apresentada na Tabela 10.

Tabela 10– Granulometria média da areia quartzosa utilizada

Malha	Retido	%	% Retido acumulado
4,8 mm	3,5	1	1
2,4 mm	18,0	4	4
1,2 mm	50,9	10	15
0,6 mm	100,0	20	35
0,3 mm	234,6	46	81
0,15 mm	84,2	17	98
<0,15 mm	8,2	2	100
Somatório	499,4	100	
Diâmetro Máximo			2,40
Módulo de Finura			2,35

(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2 Agregados Reciclados

Todo o agregado reciclado no trabalho foi agregado reciclado de concreto. Este agregado foi proveniente de um concreto produzido em uma usina de concreto, doado para fins de pesquisa por uma grande concreteira de Porto Alegre, moldados sobre a forma de corpos de prova com uma resistência característica aos 28 dias de 30 MPa. Para ser utilizado na pesquisa como agregado graúdo, os corpos de prova foram britados inicialmente em um britador de mandíbula. Posteriormente, o material foi separado em três densidades de 2,2 g/cm³, 2,4 g/cm³ e 2,6 g/cm³ pelo método dos líquidos densos. A separação do material em três densidades foi feita previamente a realização deste trabalho no Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM).

As três densidades apresentam características físicas diferentes, as quais são perceptíveis nas Tabelas 11,12 e 13 e 14. A distribuição granulométrica foi realizada conforme preconiza a NBR NM 248, junto com o módulo de finura e a dimensão máxima característica.

Tabela 11 – Resumo propriedades físicas por massa específica

Massa específica	Módulo de Finura	Massa Unitária (kg/m ³)
2,2 g/cm ³	6,76	1222
2,4 g/cm ³	6,59	1130
2,6 g/cm ³	6,83	1398

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 12- Característica físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,2 g/cm³

Malha	Retido (g)	%	% Retido acumulado
19 mm	140,03	3	3
12,5 mm	2704,70	54	57
9,5 mm	878,10	18	75
6,5mm	904,07	18	93
4,8mm	251,07	5	98
Fundo	121,50	2	100
Somatório	4999,47	100,0	
Diâmetro máximo			19 mm
Módulo de Finura			6,76

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 13– Característica físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,4 g/cm³

Malha	Retido (g)	%	% Retido acumulado
19 mm	70,73	1	1
12,5 mm	1709,23	34	36
9,5 mm	1238,83	25	60
6,5mm	1523,73	31	91
4,8mm	379,83	8	99
Fundo	72,97	1	100
Somatório	4995,333	100	
Diâmetro máximo			19 mm
Módulo de Finura			6,59

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 14– Característica físicas do agregado reciclado de concreto de densidade 2,6 g/cm³

Malha	Retido (g)	%	% Retido acumulado
19 mm	137,53	3	3
12,5 mm	3089,90	62	65
9,5 mm	829,73	17	81
6,5mm	693,83	14	95
4,8mm	198,80	4	99
Fundo	44,51	1	100
Somatório	4994,313	100	
Diâmetro Máximo			19 mm
Módulo de Finura			6,83

(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.3 Cimento

Para a execução desse trabalho foi utilizado o cimento Portland CP IV-32. A escolha desse cimento é devido a grande disponibilidade dele na região sul, sendo assim sua grande utilização nas obras.

6.1.4 Água

A água utilizada no trabalho foi água potável disponibilizada pela rede pública de abastecimento de Porto Alegre (DMAE).

6.2 PRODUÇÃO DE CONCRETO

Em função da pequena disponibilidade de agregado reciclado, para possibilitar uma comparação entre concretos produzidos com diferentes agregados baseando-se em trabalhos anteriores (CORDEIRO, 2013 e LOVATO, 2007) algumas decisões foram tomadas como diretrizes do trabalho. Uma decisão foi utilizar o teor de argamassa do concreto em 55%, para garantir a argamassa necessária nos concretos que utilizam RCD de concreto.

Outro critério definido foi de não normalizar as granulometrias dos agregados reciclados em suas respectivas densidades nem do agregado natural, ou seja, os agregados não foram

colocados na mesma granulometria. Isso devido ao fato de ser extremamente difícil, em um canteiro de obra, o controle da composição granulométrica e seu necessário ajuste.

Conforme a bibliografia (CORDEIRO,2013), ao se trabalhar com agregados reciclados, os traços devem ser feitos em volume, em especial quando se trabalha com agregados de RCD que contém material cerâmico. Devido à diferença de densidades entre agregado natural e reciclado, evitando uma mudança nas características dos concretos como a relação pasta/agregado. Todas as medições de quantidades foram feitas em massa, usando a massa unitária como fator de correção.

No escopo do trabalho, para cada agregado (agregado natural, agregado reciclado de concreto de 2,2 g/cm³, agregado reciclado de concreto 2,4 g/cm³, agregado reciclado de concreto 2,6 g/cm³ e uma mistura de densidades 2,4 e 2,6 g/cm³) foram feitos três traços distintos. Adotando-se como referência os concretos que utilizaram o agregado natural, definiu-se três referências: 1:3,5 , 1:5,0 e 1:6,5, totalizando quinze traços distintos executados (Tabela 15).

Devido à elevada absorção presente no agregado reciclado, foi necessário a sua saturação antes da moldagem do concreto, para não acontecer a absorção pelo agregado da água da mistura, diminuindo a água presente para a trabalhabilidade, gerando concretos diferentes e incomparáveis. Devido a isso, no momento da dosagem, a pesagem dos agregados reciclados foi feita considerando a absorção de água (LOVATO, 2007).

Tabela 15– Quantidade de materiais por traço de concreto em kg.

Traço	1:3,5	1:5	1:6,5
Cimento	7,4	5,55	4,44
Areia	10,92	12,77	13,88

Agregado Graúdo	2.2 g/cm ³	2.4 g/cm ³	2.6 g/cm ³	2.4*2.6 g/cm ³	Natural
Fresco	11,48	10,61	13,13	11,87	15
Saturado	11,96	11,04	13,46	12,11	

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.1 Produção do Concreto

Para garantir a correta execução dos traços de concreto, foi necessário, previamente, saturar o agregado reciclado por doze horas e deixá-lo secando por seis horas em peneiras de pequenas dimensão nominal de abertura, evitando perder material, garantindo assim que a água presente no agregado fosse somente a essencial para a completa saturação do mesmo, evitando um acréscimo de água ao traço, criando condições diferentes dos outros concretos. Além disso, garantiu-se a devida substituição dos agregados por volumes na hora da execução (Figura 6).

Figura 6 - Secagem dos agregados reciclados de concreto após saturação dos mesmos e previamente à produção do concreto.



(fonte: foto do autor)

A ordem de colocação dos materiais na betoneira para a produção de concreto não seguiu a ordem usual de: agregado graúdo, água, cimento, areia e água. Isso devido ao agregado reciclado de concreto, pode se deteriorar com o atrito, mudando assim suas características granulométricas durante a execução. Esse fenômeno foi percebido também nos ensaios de granulometria do material. Para evitar essa mudança de características, adotou-se o método desenvolvido por

Cordeiro (2013), o qual indica a ordem de: cimento, água, areia, agregado graúdo e água. O método se baseia em criar um leito de argamassa evitando um maior impacto e a desagregação do RCD. Junto a isso evitando que o agregado graúdo ficasse muito tempo na betoneira, sendo somente o tempo necessário para uma boa mistura.

O abatimento adotado foi de $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$, descrito pelo NBR NM 67 (ABNT, 1998) (Figura 7). Na Tabela 16 encontra-se o abatimento de cada traço, junto com sua relação água/cimento e sua massa específica no estado fresco. O abatimento está em mm, e a massa específica no estado fresco em g/cm^3 .

Tabela 16– Abatimento (mm) , relação água/cimento e massa específica no estado fresco (g/cm^3) de cada traço.

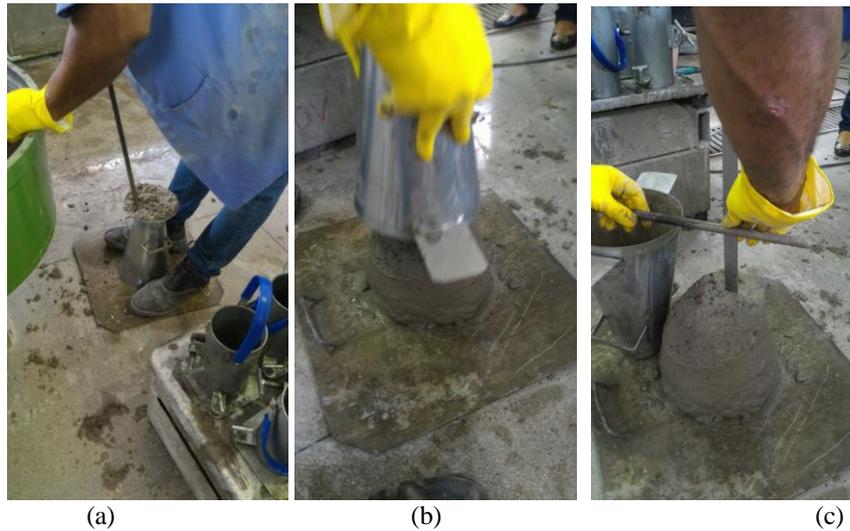
	1:3,5		1:5		1:6,5	
	a/c	Abatimento	a/c	Abatimento	a/c	Abatimento
Natural	0,40	135	0,51	125	0,65	130
2.2 g/cm^3	0,41	130	0,54	160	0,64	140
2.4 g/cm^3	0,40	140	0,51	140	0,66	140
2.6 g/cm^3	0,42	125	0,51	130	0,62	120
2.4*2.6 g/cm^3	0,43	145	0,51	125	0,64	140

	Massa específica no estado fresco					
Natural	-	-	-	-	-	-
2.2 g/cm^3	-	-	2,24	-	-	-
2.4 g/cm^3	2,21	2,20	2,25	2,21	2,19	2,19
2.6 g/cm^3	2,31	2,31	2,30	2,30	2,32	2,56
2.4*2.6 g/cm^3	2,31	2,23	2,26	2,29	2,27	2,25

(fonte: elaborado pelo autor)

Para o traço referência e para a maioria dos traços com agregado reciclado de massa específica de $2,2 \text{ g/cm}^3$ não foi executado o ensaio de massa específica no estado fresco.

Figura 7- Processo de execução do ensaio de abatimento descrito conforme na NBR NM 67.



(fonte: foto do autor)

Devido à pouca quantidade de material reciclado, os concretos com agregado reciclado resultaram na moldagem de 7 a 8 corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm para a posterior realização dos ensaios (Figura 8). A moldagem dos corpos de prova foi realizada em duas camadas, ambas devidamente vibradas por dez segundos na mesa vibratória. A cura dos mesmos foi realizada no próprio laboratório nas primeiras 24 horas, cobertos com lona plástica, sendo desmoldados após isso e colocados em câmara úmida, com umidade relativa de $95\% \pm 2\%$ e temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, até a idade necessária para os ensaios, seguindo as determinações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 8 - Vibração dos corpos de prova utilizando a mes vibratória.



(fonte: foto do autor)

6.3 MÉTODOS DE ENSAIO

No presente trabalho foram avaliadas as propriedades mecânicas do concreto produzido, as quais são resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e o módulo de deformação, e como indicativo de durabilidade foi realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade.

6.3.1 Resistência à Compressão Axial

O ensaio de resistência à compressão axial seguiu os procedimentos de ensaio preconizados na NBR 5739 (ABNT, 2007), porém a idade de ruptura dos corpos de prova foi de 35 dias e não de 28 dias como normalmente, em função da necessidade de realizar os ensaios de absorção com os mesmos corpos de prova. Para cada traço executado, foram ensaiados a resistência à compressão axial de 4 a 5 corpos de prova. Previamente aos ensaios, os corpos de prova foram retificados no laboratório para regularização da superfície, garantindo a aplicação da carga em todo corpo de prova. O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em uma prensa servo hidráulica EMIC com capacidade de carga de 200 toneladas. A velocidade adotada para este ensaio foi de 0,45 MPa/s, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os dois corpos de prova usados no ensaio de absorção por capilaridade foram usados para este ensaio. Esses dois valores obtidos foram introduzidos como previsão de carga de ruptura no ensaio de módulo de deformação, o qual também resulta em resultados de resistência à compressão axial. (Figura 9).

Figura 9 - Ensaio de resistência à compressão axial.



(fonte: foto do autor)

6.3.2 Resistência à Tração Por Compressão Diametral

Para a avaliação da resistência à tração por compressão diametral foi realizado o ensaio baseado na NBR 7222 (ABNT,2011) sendo a mesma idade de 35 dias dos corpos de prova ensaiados, conforme justificado anteriormente. Foram realizados três corpos de prova para cada traço executado (Figura 10), sendo rompidos 47 corpos de prova na totalidade.

Figura 10 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



(fonte: foto do autor)

6.3.3 Módulo de Deformação

Na mesma idade dos demais ensaios, 35 dias de idade, os corpos de prova, foram submetidos ao ensaio de módulo estático de elasticidade à compressão, seguindo as diretrizes da NBR 8522 (ABNT, 2008). A metodologia utilizada foi a Metodologia A – Tensão fixa, na qual aplica-se a uma velocidade crescente a tensão de 0,50 MPa/s, efetuando-se pausas de 60 segundos para as medições, sendo realizado 3 vezes o ciclo antes da ruptura. Previamente à execução do ensaio, é necessário saber a previsão de ruptura do corpo de prova irmão, pois o ensaio em questão usa 30% da carga de ruptura prevista à compressão axial. Para cada traço, foram realizados de dois a três ensaios, dependendo do número disponível de corpos de prova, com eles demonstrando resultado do próprio módulo e também da compressão axial. A medição das deformações foi feita usando o extensômetro elétrico (Figura 11).

Figura 11– Ensaio de módulo de deformação



(fonte: foto do autor)

6.3.4 Absorção

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi executado baseando-se nos procedimentos indicados na NBR 9779 (ABNT, 2005). Em virtude da variabilidade deste ensaio, realizou-se uma adaptação já anteriormente autenticada em outras pesquisas. Aos 25 dias de idade, os corpos de prova foram retirados da câmara úmida, colocando-os em uma estufa na temperatura de 110 ± 5 °C até atingir a constância de massa, ou seja, diferença de massa após duas pesagens menor que 1%. Após a constância de massa ser obtida, os corpos de prova foram impermeabilizados na sua área lateral com pintura impermeabilizante automotiva, deixando apenas 5 mm próximos ao fundo sem a impermeabilização. Esses 5 mm é a área de contato do corpo de prova com a lâmina d'água. Após a impermeabilização, os corpos de prova foram colocados na água e medindo as variações de massa no tempo de 6, 12, 24 48 e 72 horas (Figura 12).

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

7.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Na Tabela 17 são apresentados as médias dos valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, incluídos tanto os valores obtidos diretamente pelo ensaio como os decorrentes do ensaio de módulo de deformação. Além disso, a tabela apresenta o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada relação traço/massa específica do agregado. Na tabela, 2,4*2,6 g/cm³ indica a mistura das duas densidades e referência sendo o agregado graúdo natural. Os valores expressos de resistência estão em MPa. Todos os valores obtidos no ensaio estão no Anexo A.

Tabela 17– Relação entre as resistências à compressão axial médias e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.

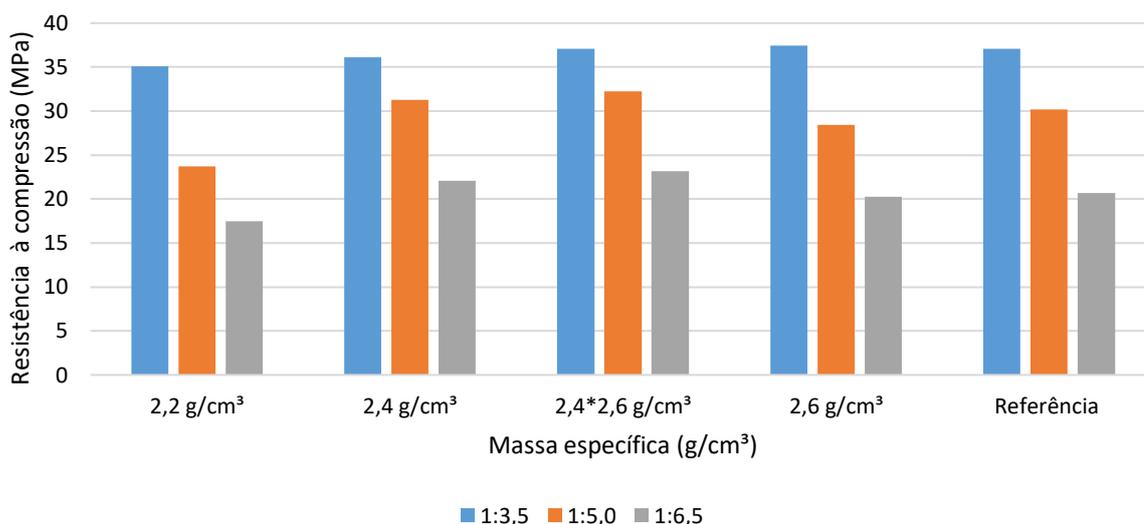
	1:3,5			1:5,0		
	Resistência (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)	Resistência (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)
Referência	37,1	2,91	8	30,2	1,71	6
2,2 g/cm ³	35,1	3,96	11	23,7	1,34	6
2,4 g/cm ³	36,1	2,86	8	31,3	2,05	7
2,4*2,6 g/cm ³	37,1	2,02	5	32,2	1,43	4
2,6 g/cm ³	37,4	3,81	10	28,2	3,47	12

	1:6,5		
	Resistência (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)
Referência	20,7	2,59	13
2,2 g/cm ³	17,5	2,90	17
2,4 g/cm ³	22,1	1,18	5
2,4*2,6 g/cm ³	23,1	1,03	4
2,6 g/cm ³	20,3	1,76	9

(fonte: elaborado pelo autor)

As médias das resistências de acordo com o traço e a massa específica estão mostradas na Figura 13.

Figura 13– Influência da massa específica e do traço na resistência à compressão axial, aos 35 dias.



(fonte: elaborado pelo autor)

Observando-se os valores mostrados na figura 13, percebe-se que o comportamento dos concretos se dá de maneira esperada, com os traços mais ricos obtendo maiores resultados e os traços mais pobres os menores.

Afim de analisar as significâncias dos dados obtidos, foi feita a análise estatística de variância (ANOVA). Para essa análise, adotou-se a probabilidade de 5% como limite de significância (Tabela 18).

Tabela 18– ANOVA para resistência à compressão axial.

Fonte de Variação	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F	Significância	Influência Significativa
Massa específica	213,70	4	53,42	8,69	0,00%	S
Traço	2928,29	2	1464,14	238,09	0,00%	S
Massa específica/Traço	87,93	8	10,99	1,79	9,86%	NS
Erro	350,52	57	6,15			

(fonte: elaborado pelo autor)

A partir da análise da tabela ANOVA, é possível concluir que tanto a massa específica quanto o traço têm efeitos significativos sobre o resultado da resistência à compressão. A tabela ANOVA também indica que a interação entre massa específica e traço não tem efeito

significativo na resistência. Como limite de decisão para a comparação múltipla de médias, utilizou-se 3 desvios padrões das médias amostradas sendo comparadas. As Tabelas 19 e 20 indicam, respectivamente, os comportamentos individuais das massas específicas e dos traços entre si.

Tabela 19– Comparações múltiplas de médias das massas específicas.

Comparação de Médias das massas específicas		
Número médio de amostras	14,4	
Limite de Decisão	1,960	
Referência - 2,6	1,090	Iguais
Referência - 2,6*2,4	-1,667	Iguais
Referência - 2,4	1,017	Iguais
Referência - 2,2	4,050	Diferentes
2,6 - 2,6*2,4	-0,577	Iguais
2,6 - 2,4	0,441	Iguais
2,6 - 2,2	4,491	diferentes
2,6*2,4 - 2,4	-0,649	Iguais
2,6*2,4 - 2,2	3,401	Diferentes
2,4 - 2,2	5,067	Diferentes

(fonte: elaborado pelo autor)

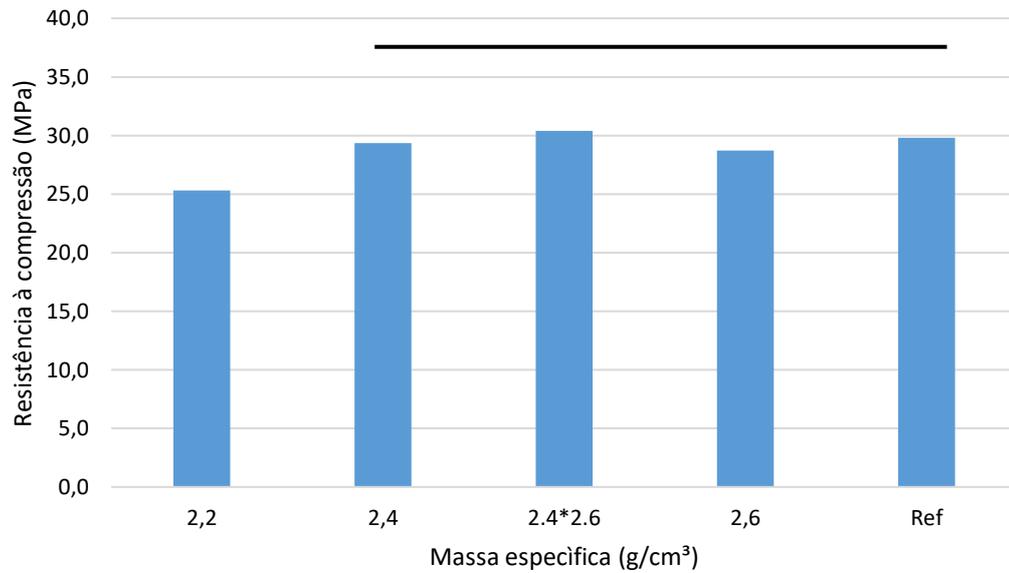
Tabela 20 – Comparações múltiplas de médias dos traços.

Comparação de Médias dos Traços		
Número médio de amostras	24	
Limite de Decisão	1,519	
1:3,5 -1:5,0	7,473	Diferentes
1:3,5 -1:6,5	15,775	Diferentes
1:5,0 -1:6,5	8,302	Diferentes

(fonte: elaborado pelo autor)

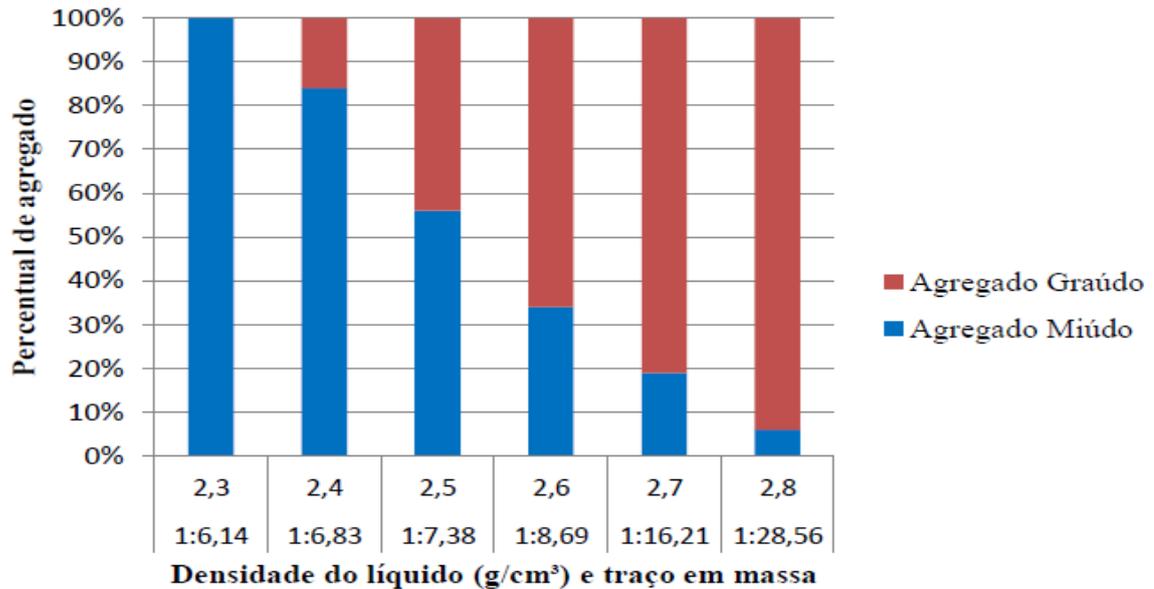
Após a análise dos resultados é possível afirmar que entre todas as massas específicas, a única que tem um impacto negativo na resistência à compressão é a de 2,2 g/cm³, ou seja, seu uso nos concretos significa uma decréscimo na resistência desejada (Figura 14). Esse resultado é corroborado pelo trabalho de Matos (2016) no qual demonstra que nas massas específicas menores, a presença de agregado graúdo é pequena (Figura 14). Também confirma-se o esperado que a escolha do traço tem um grande impacto na resistência à compressão (Figura 16).

Figura 14– Influência da massa específica na resistência à compressão axial, aos 35 dias.



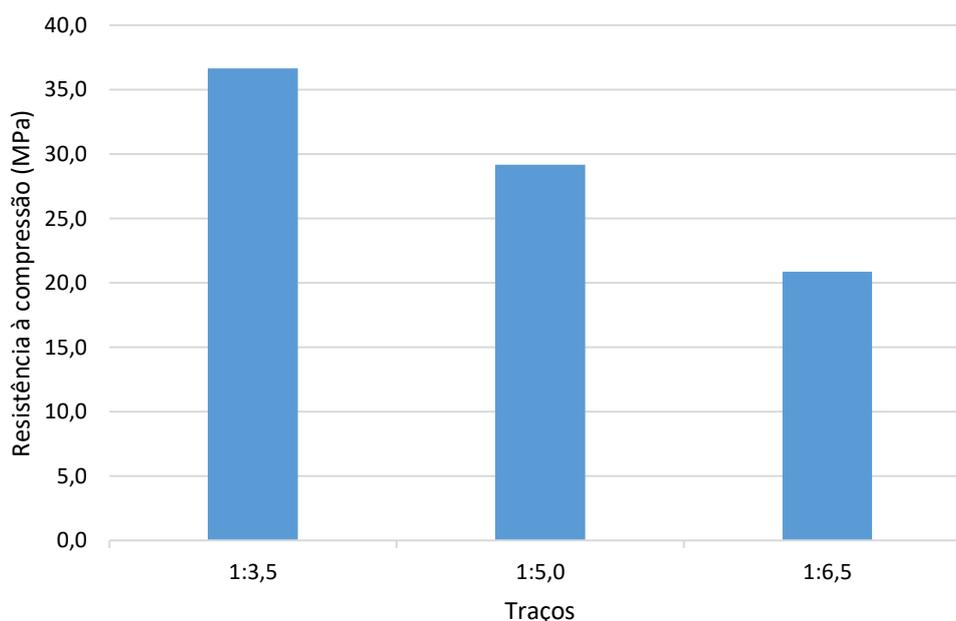
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 15– Influência do traço na compressão axial



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 16– Influência do traço na compressão axial



(fonte: elaborado pelo autor)

7.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na Tabela 21 são apresentadas as médias dos valores obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral. Além disso, a tabela apresenta o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada relação traço/massa específica do agregado indica. Na tabela, 2,4*2,6 g/cm³ indica a mistura das duas densidades e referência sendo o agregado graúdo natural. Os valores expressos de resistência estão em MPa. Todos os valores obtidos no ensaio estão no Anexo B.

Tabela 21– Relação entre as resistências à tração por compressão diametral e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.

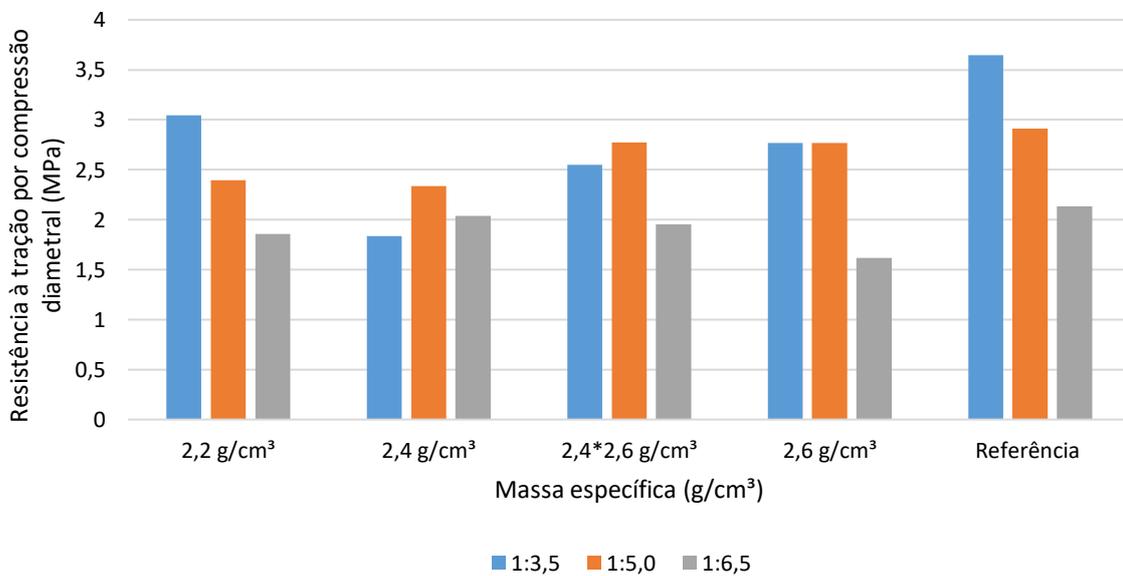
	1:3,5			1:5,0		
	Resistencia (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)	Resistencia (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)
Referência	3,65	0,02	1	2,91	0,53	18
2,2 g/cm ³	3,04	0,23	8	2,39	0,21	9
2,4 g/cm ³	1,83	0,30	16	2,34	0,57	24
2,4*2,6 g/cm ³	2,55	0,24	9	2,77	0,91	33
2,6 g/cm ³	2,76	0,28	10	2,77	0,28	10

	1:6,5		
	Resistencia (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	CV (%)
Referência	2,13	0,32	15
2,2 g/cm ³	1,86	0,29	16
2,4 g/cm ³	2,04	0,39	19
2,4*2,6 g/cm ³	1,95	0,16	8
2,6 g/cm ³	1,62	0,18	11

(fonte: elaborado pelo autor)

A média das resistências de acordo com o traço e a massa específica está demonstrada na Figura 17.

Figura 17– Influência da massa específica e do traço na resistência à compressão diametral



(fonte: elaborado pelo autor)

Observando o comportamento dos concretos demonstrados na Figura 16, percebe-se uma grande variabilidade no comportamento dos concretos devido à alta variabilidade do ensaio.

A fim de analisar as significâncias dos dados obtidos, foi feita a análise estatística de variância (ANOVA). Para essa análise, adotou-se a probabilidade de 5% como limite de significância (Tabela 22).

Tabela 22– ANOVA para resistência à tração por compressão diametral.

Fonte de Variação	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F	Significância	Influência Significativa
Massa específica	2,35	4	0,59	2,05	11,54%	NS
Traço	5,35	2	2,67	9,31	0,08%	S
Massa específica/Traço	3,13	8	0,39	1,36	25,71%	NS
Erro	7,75	27	0,29			

(fonte: elaborado pelo autor)

Com base na análise nos resultados apresentados pela tabela ANOVA, é possível afirmar que somente o traço tem influência na resistência à tração por compressão diametral. Os resultados também indicam que a massa específica do agregado não tem grande relevância nessa característica, nem de forma independente nem interagindo com o traço.

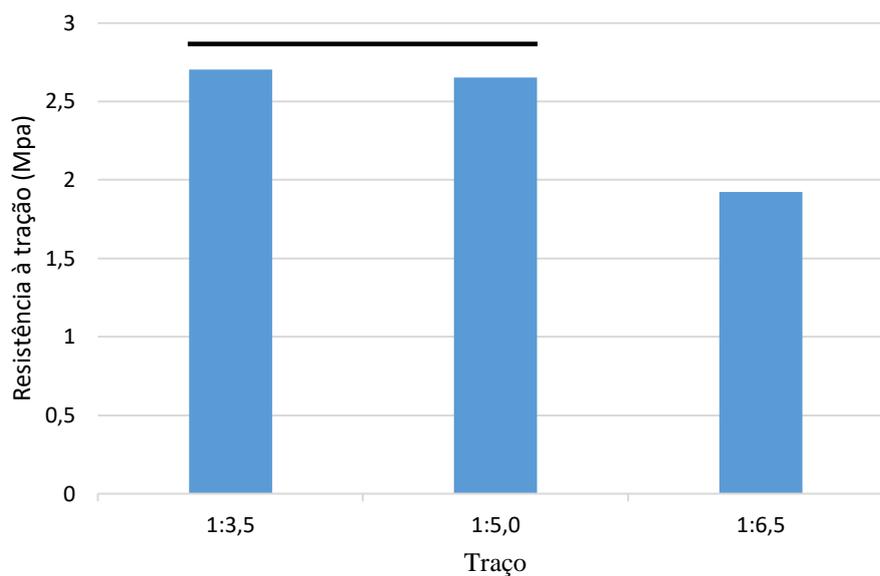
Para a análise aprofundada da influência do traço na resistência à tração por compressão diametral, foi realizado uma análise sobre a comparação de médias dos traços demonstrada na Tabela 23 e Figura 18 .

Tabela 23– Comparações de médias dos traços.

Comparação de Médias dos Traços		
Número médio de amostras	14	
Limite de Decisão	0,430	
1:3,5 -1:5,0	0,052	Iguais
1:3,5 -1:6,5	0,782	Diferentes
1:5,0 -1:6,5	0,729	Diferentes

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18– Influência do traço na tração por compressão diametral.



(fonte: elaborado pelo autor)

A partir dos resultados apresentados na Figura 17, constata-se que o traço de 1:6,5 tem resistência à tração por compressão diametral menor a que 1:5,0 e 1:3,5. Comportamento em parte não esperado pois o traço 1:3,5 deveria ter resistência à tração por compressão diametral maior que o de 1:5,0.

7.3 MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Na Tabela 24 são apresentados as médias dos valores obtidos nos ensaios de módulo de deformação. Além disso, a tabela apresenta o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada relação traço/massa específica do agregado indica. Na tabela, $2,4*2,6 \text{ g/cm}^3$ indica a mistura das duas densidades e referência sendo o agregado graúdo natural. Os valores expressos do módulo de deformação estão em GPa. Todos os valores obtidos no ensaio estão no Anexo C.

Tabela 24- Relação entre as resistências à tração por compressão diametral e os traços ensaiados com seus desvios padrões e coeficiente de variação.

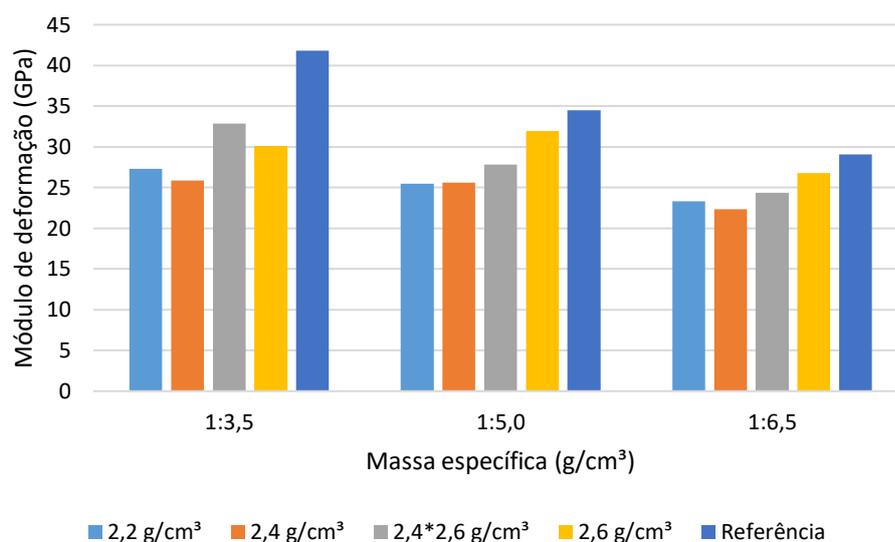
	1:3,5			1:5,0		
	Módulo (GPa)	Desv. Padrão (GPa)	CV (%)	Módulo (GPa)	Desv. Padrão (GPa)	CV (%)
Referência	41,8	6,98	17	34,5	3,26	9
2,2 g/cm ³	27,3	1,94	7	25,5	1,43	6
2,4 g/cm ³	25,9	1,06	4	25,6	0,44	2
2,4*2,6 g/cm ³	32,9	0,62	2	27,8	1,33	5
2,6 g/cm ³	30,1	0,68	2	32,0	6,42	20

	1:6,5		
	Módulo (GPa)	Desv. Padrão (GPa)	CV (%)
Referência	29,1	1,74	6
2,2 g/cm ³	23,3	1,25	5
2,4 g/cm ³	22,3	0,88	4
2,4*2,6 g/cm ³	24,4	3,91	16
2,6 g/cm ³	26,8	0,67	3

(fonte: elaborado pelo autor)

O comportamento da média dos módulos de deformação de acordo com o traço e a massa específica está demonstrada na Figura 19.

Figura 19– Influência da massa específica e do traço no módulo de deformação



(fonte: elaborado pelo autor)

Observando o comportamento dos concretos demonstrados acima, percebe-se uma grande variabilidade no comportamento.

Afim de analisar as significâncias dos dados obtidos, foi feita a análise estatística de variância (ANOVA). Para essa análise, adotou-se a probabilidade de 5% como limite de significância (Tabela 25).

Tabela 25 – ANOVA para o módulo de deformação.

Fonte de Variação	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F	Significância	Influência Significativa
Massa específica	596,02	4	149,01	12,91	0,00%	S
Traço	323,63	2	161,82	14,02	0,01%	S
Massa específica/Traço	123,44	8	15,43	1,34	27,74%	NS
Erro	253,90	22	11,54			

(fonte: elaborado pelo autor)

Com base na análise nos resultados apresentados pela tabela ANOVA, é possível afirmar que a massa específica e o traço tem influência significativa e independente nos resultados de módulo

de deformação. Além disso, a tabela mostra que para a relação entre a massa específica e o traço não é relevante para o resultado do ensaio.

Para a análise aprofundada da influência da massa específica no módulo de deformação, foi realizado uma análise sobre a comparação de médias dos traços demonstrada na Tabela 26 e Tabela 27.

Tabela 26– Comparações de médias das massas específicas.

Comparação de Médias das massas específicas		
Número médio de amostras	8	
Limite de Decisão	3,603	
Referência - 2,6	5,491	Diferente
Referência - 2,6*2,4	7,319	Diferente
Referência - 2,4	10,673	Diferente
Referência - 2,2	9,755	Diferente
2,6 - 2,6*2,4	1,828	Igual
2,6 - 2,4	5,182	Diferente
2,6 - 2,2	4,265	Diferente
2,6*2,4 - 2,4	3,354	Igual
2,6*2,4 - 2,2	2,437	Igual
2,4 - 2,2	-0,918	Igual

(fonte: elaborado pelo autor)

Com os dados mostrados na Tabela 26, pode-se afirmar que a massa específica referência apresenta o maior módulo de deformação, superior a todos os módulos com agregados reciclados. Pode-se afirmar também que as massas específicas de 2,6 e 2,4*2,6 g/cm³ tem um desempenho superior as demais massas específicas de agregados reciclados. Vale ressaltar também que a variabilidade presente na massa específica de 2,4*2,6 g/cm³ faz com que esta massa específica tenha um comportamento tanto como a massa específica de 2,6 g/cm³ como as massas específicas 2,2 e 2,4 g/cm³ (Figura 20). O resultado apresentado é corroborado pelo trabalho de Matos (2016), Figura 15, no qual demonstra que nas menores massas específicas a

presença de agregado graúdo é significativamente menor, sendo o mesmo responsável pelo desempenho no módulo de deformação.

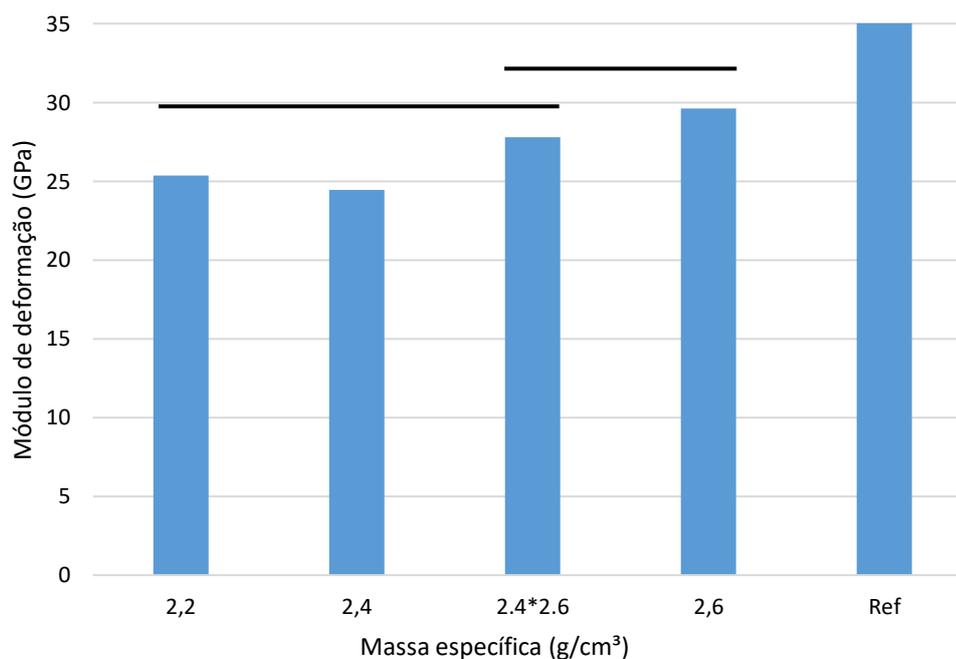
Tabela 27- Comparação de médias dos traços

Comparação de Médias dos Traços	
Número médio de amostras	13,3333
Limite de Decisão	2,791
1:3,5 -1:5,0	3,001 Diferente
1:3,5 -1:6,5	7,017 Diferente
1:5,0 -1:6,5	4,016 Diferente

(fonte: elaborado pelo autor)

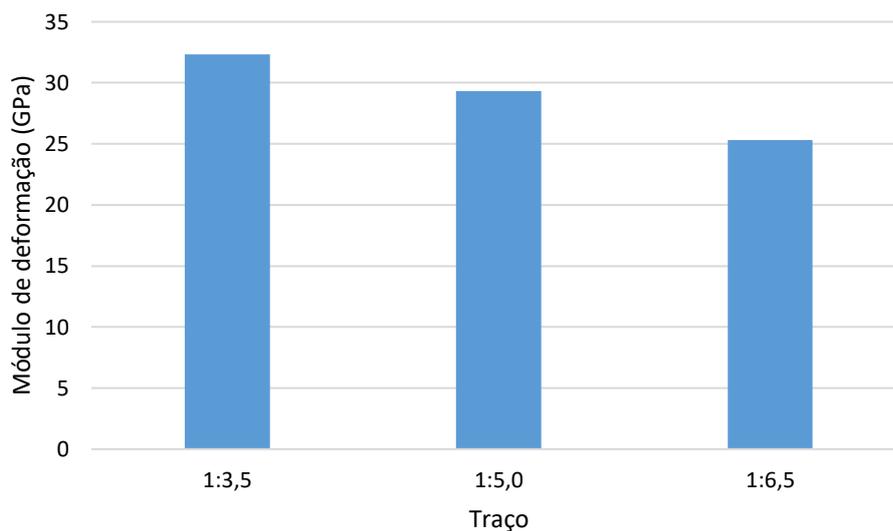
Conforme a análise dos dados da Tabela 27, o comportamento foi o esperado, sendo a escolha do traço um grande fator no desempenho no módulo de deformação. (Figura 21).

Figura 20 - Influência das massas específicas no modulo de deformação



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 21 - Influência do traço no módulo de deformação



(fonte: elaborado pelo autor)

7.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

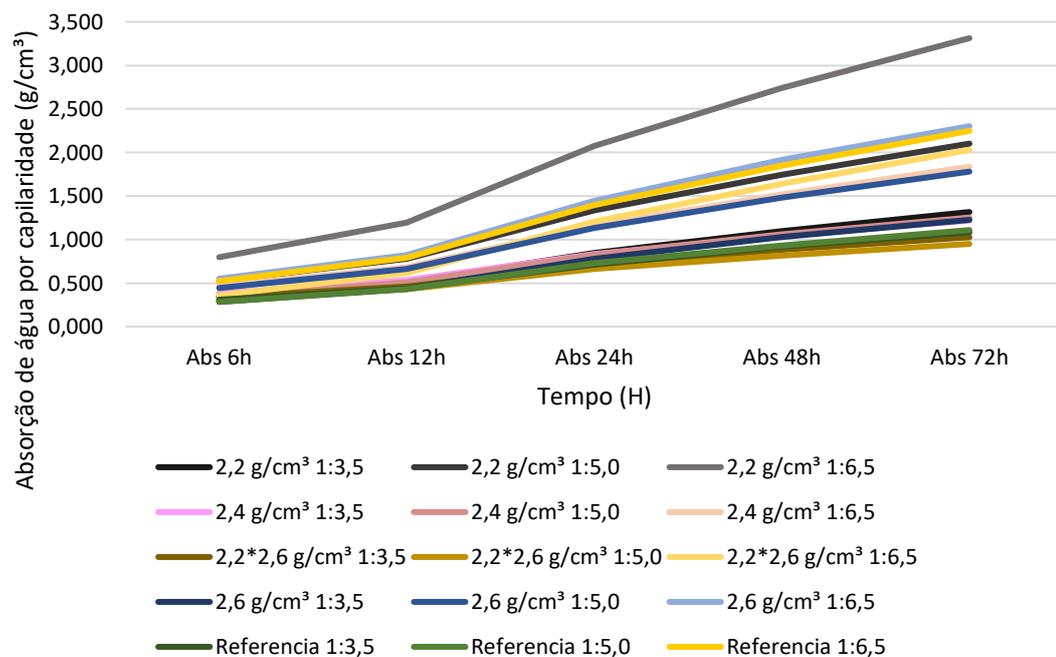
Na Tabela 28 estão apresentados os valores médios de absorção de água, sendo medida a absorção da água em cinco momentos diferentes. Na figura 19, o comportamento de cada traço por massa específica está representado. Na tabela, $2,4*2,6 \text{ g/cm}^3$ indica a mistura das duas densidades e referência sendo o agregado graúdo natural. Os valores de absorção por capilaridade são expressos em g/cm^3 (Figura 22 e 23). Todos os valores obtidos no ensaio estão no Anexo D.

Tabela 28 – Relação entre as absorções de água por capilaridade com as massas específicas estudadas e com os traços ensaiados.

Massa específica (g/cm ³)	Traço	Abs 6h	Abs 12h	Abs 24h	Abs 48h	Abs 72h
2,2	1:3,5	0,346	0,507	0,848	1,098	1,316
	1:5,0	0,525	0,778	1,335	1,743	2,101
	1:6,5	0,796	1,196	2,075	2,741	3,312
2,4	1:3,5	0,382	0,534	0,832	1,039	1,218
	1:5,0	0,343	0,507	0,828	1,061	1,252
	1:6,5	0,467	0,682	1,159	1,518	1,836
2,2*2,6	1:3,5	0,337	0,458	0,713	0,882	1,026
	1:5,0	0,309	0,428	0,665	0,817	0,949
	1:6,5	0,360	0,616	1,204	1,641	2,029
2,6	1:3,5	0,285	0,438	0,776	1,027	1,226
	1:5,0	0,443	0,664	1,132	1,484	1,780
	1:6,5	0,550	0,823	1,441	1,915	2,301
Referência	1:3,5	0,309	0,443	0,711	0,918	1,082
	1:5,0	0,283	0,428	0,732	0,934	1,108
	1:6,5	0,522	0,790	1,395	1,850	2,248

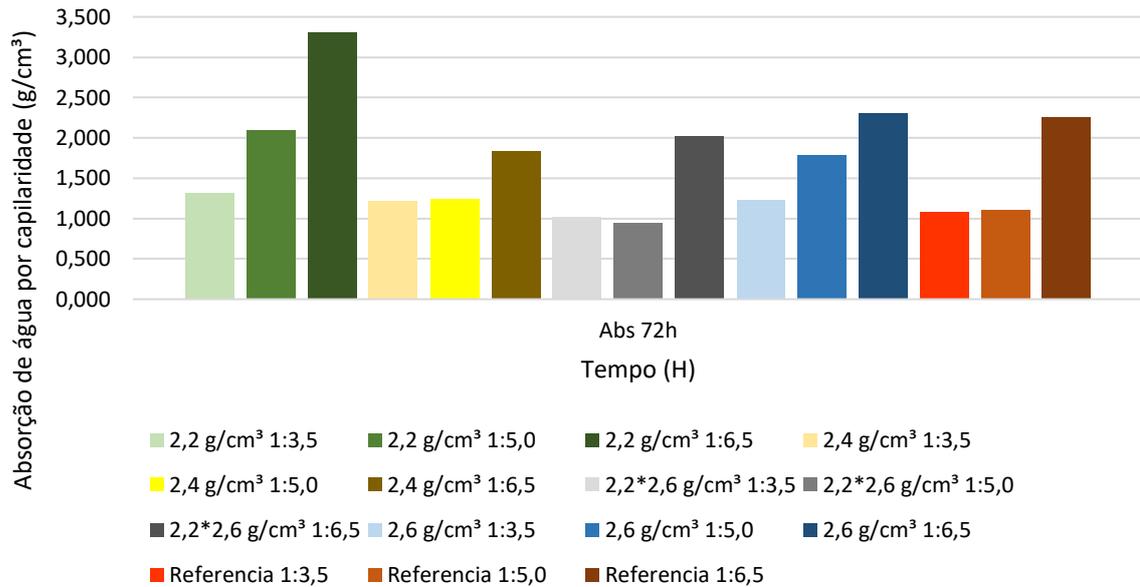
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22 –Comportamento dos traços e massas específicas referentes a absorção de água por capilaridade



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 23 - Comportamento dos traços e massas específicas referentes a absorção de água por capilaridade nas 72h de ensaio



(fonte: elaborado pelo autor)

A fim de analisar as significâncias dos dados obtidos, foi feita a análise estatística de variância (ANOVA). Para essa análise, adotou-se a probabilidade de 5% como limite de significância (Tabela 29).

Tabela 29– ANOVA para absorção de água por capilaridade.

Fonte de Variação	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	F	Significância	Influência Significativa
Massa específica	5,81	4,00	1,45	33,82	0%	S
Traço	12,25	2,00	6,13	142,62	0%	S
Absorção	31,59	4,00	7,90	183,88	0%	S
Massa específica/Traço	10,38	8,00	1,30	30,22	0%	S
Massa específica/Absorção	1,36	16,00	0,08	1,98	3%	S
Traço/Absorção	4,60	8,00	0,58	13,39	0%	S
Massa específica/Traço /Absorção	12,96	32,00	0,41	9,43	0%	S
Erro	3,22	75,00	0,04			

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a tabela ANOVA a cima, percebe-se que todos os parâmetros têm influência significativa no resultado, tanto como fatores independentes como suas interações. Para tentar avaliar os dados analisados, foi feito comparações múltiplas de médias entre massas específicas, fixando horário de coleta de absorção e traço, a fim de avaliar a influência do agregado reciclado, o qual tem o maior foco de avaliação desde trabalho.

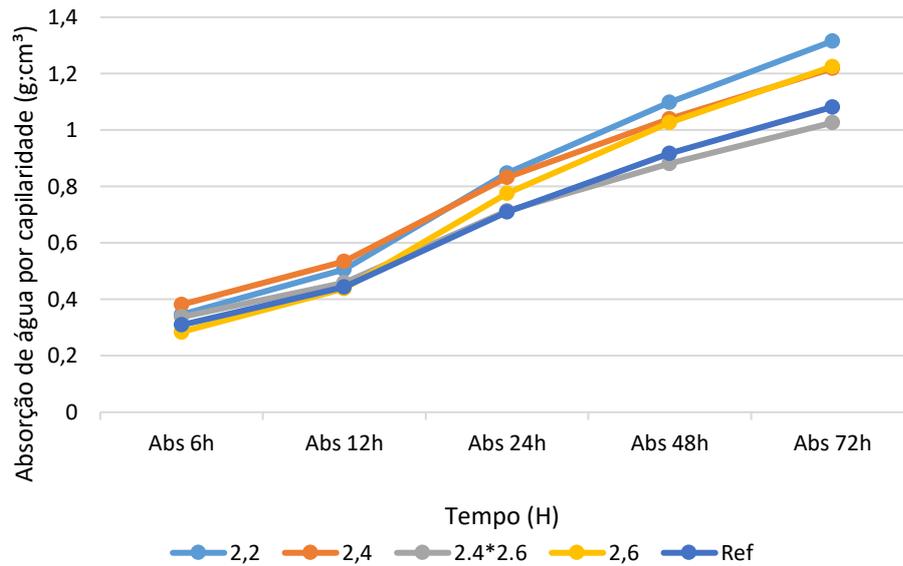
Na Tabela 30 e na Figura 24 está apresentado os dados, fixando-se o traço em 1:3,5 e a absorção por horário de coleta.

Tabela 30– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:3,5.

Comparações de Médias das massas específicas						
Número médio de amostras	2					
Limite de Decisão	0,440					
Comparações das médias de A						
Fixando Traço 1:3,5	Abs 6h	Abs 12h	Abs 24h	Abs 48h	Abs 72h	
Referência - 2,6	0,025	0,006	-0,065	-0,109	-0,144	
Referência - 2,6*2,4	-0,028	-0,015	-0,002	0,036	0,056	
Referência - 2,4	-0,072	-0,091	-0,121	-0,121	-0,137	
Referência - 2,2	-0,037	-0,064	-0,137	-0,180	-0,234	
2,6 - 2,6*2,4	-0,053	-0,021	0,063	0,145	0,199	
2,6 - 2,4	-0,097	-0,097	-0,056	-0,012	0,007	
2,6 - 2,2	-0,062	-0,069	-0,072	-0,071	-0,090	
2,6*2,4 - 2,4	-0,044	-0,076	-0,119	-0,157	-0,192	
2,6*2,4 - 2,2	-0,009	-0,048	-0,135	-0,216	-0,289	
2,4 - 2,2	0,035	0,028	-0,016	-0,058	-0,097	

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:3,5.

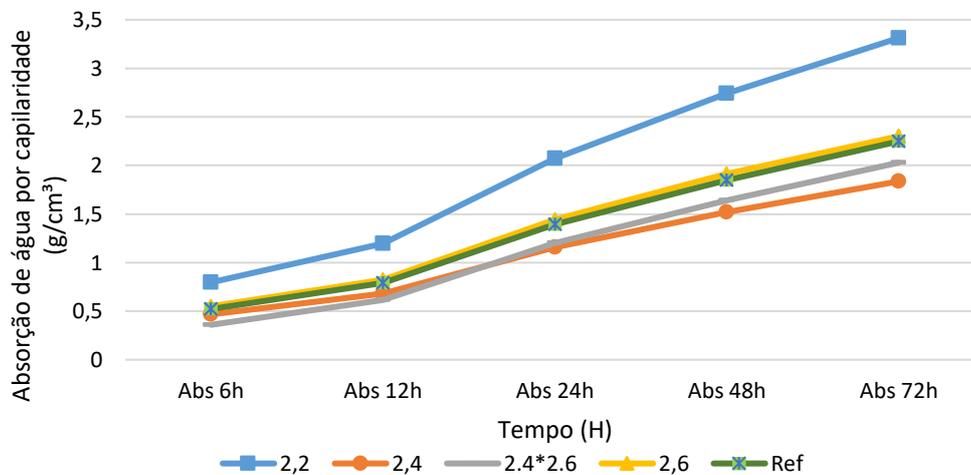


(fonte: elaborado pelo autor)

Após a análise dos dados, pode-se concluir que para os traços mais ricos, a massa específica do agregado não afeta o resultado sobre absorção. Nota-se também que os resultados obtidos com agregados reciclados não podem ser diferenciados dos resultados obtidos com os agregados naturais.

Na Tabela 31 e na Figura 25 está apresentado os dados fixando-se o traço em 1:6,5 e a absorção por horário de coleta.

Figura 25– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:6,5.



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 31– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:6,5.

Comparação de Médias das massas específicas						
Número médio de amostras	2					
Limite de Decisão	0,440					
Fixando Traço 1:6,5	Abs 6h	Abs 12h	Abs 24h	Abs 48h	Abs 72h	
Referência - 2,6	-0,028	-0,032	-0,047	-0,065	-0,053	
Referência - 2,6*2,4	0,162	0,174	0,191	0,209	0,219	
Referência - 2,4	0,055	0,108	0,236	0,332	0,412	
Referência - 2,2	-0,275	-0,406	-0,680	-0,891	-1,064	
2,6 - 2,6*2,4	0,190	0,207	0,238	0,274	0,272	
2,6 - 2,4	0,083	0,140	0,283	0,397	0,465	
2,6 - 2,2	-0,247	-0,373	-0,634	-0,825	-1,011	
2,6*2,4 - 2,4	-0,107	-0,066	0,045	0,123	0,193	
2,6*2,4 - 2,2	-0,437	-0,580	-0,871	-1,100	-1,283	
2,4 - 2,2	-0,330	-0,514	-0,916	-1,222	-1,476	

(fonte: elaborado pelo autor)

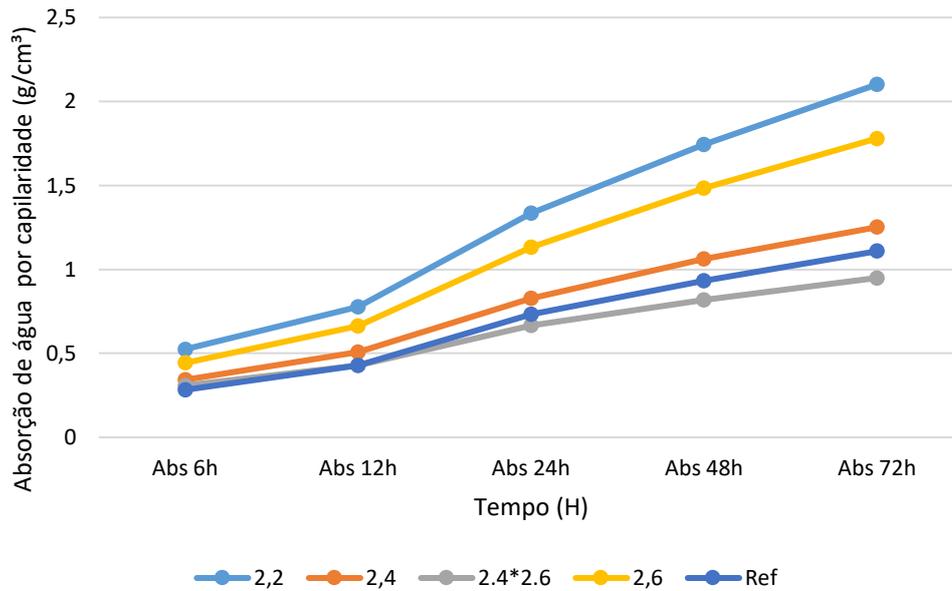
Com os dados mostrados na Figura 25, pode-se afirmar que o comportamento do agregado de massa específica de 2,2 g/cm³ difere dos outros agregados ensaiados. Sendo a respostas dos agregados de 2,6, 2,4*2,6 e 2,4 g/cm³ semelhantes ao do agregado natural. Esse comportamento era o resultado esperado com base nos outros ensaios realizados neste trabalho.

Na Tabela 32 e na Figura 26 estão apresentados os dados fixando-se o traço em 1:5,0 e a absorção por horário de coleta.

Tabela 32– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:5,0

Comparação de Médias das massas específicas						
Número médio de amostras	2					
Limite de Decisão	0,440					
Fixando Traço 1:5,0	Abs 6h	Abs 12h	Abs 24h	Abs 48h	Abs 72h	
Referência - 2,6	-0,160	-0,236	-0,400	-0,550	-0,671	
Referência - 2,6*2,4	-0,026	0,000	0,067	0,116	0,159	
Referência - 2,4	-0,060	-0,079	-0,097	-0,127	-0,143	
Referência - 2,2	-0,242	-0,349	-0,604	-0,810	-0,993	
2,6 - 2,6*2,4	0,134	0,236	0,467	0,666	0,830	
2,6 - 2,4	0,100	0,157	0,304	0,423	0,528	
2,6 - 2,2	-0,082	-0,114	-0,203	-0,260	-0,321	
2,6*2,4 - 2,4	-0,034	-0,079	-0,164	-0,243	-0,302	
2,6*2,4 - 2,2	-0,216	-0,350	-0,670	-0,926	-1,152	
2,4 - 2,2	-0,182	-0,271	-0,507	-0,683	-0,850	

Figura 26– Comparações de médias das massas específicas com o traço 1:5,0.



(fonte: elaborado pelo autor)

Com os dados mostrados na Figura 26, não se permite estabelecer um comportamento uniforme e coerente de acordo com a bibliografia. A massa específica de 2,6 g/cm³ destoa do esperado enquanto as outras massas específicas apresentam o comportamento esperado. Para uma melhor definição do comportamento das massas específicas estudadas no traço de 1;5,0 seria necessário ampliar o programa experimental, em especial para a densidade de 2,6 g/cm³ para garantir o correto entendimento do fenômeno.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas a seguir, apesar de estarem comprovando o comportamento esperado do material, não devem ser tomadas de forma absoluta, pois se referem somente aos dados obtidos de concretos que utilizaram tipos, quantidades e qualidades específicas de materiais e técnicas de execução. A representatividade deve ser firmada através da execução de novas pesquisas que apresentem resultados que possam complementar e confirmar os obtidos neste estudo.

Após a análise dos resultados de resistência à compressão, pode se afirmar que o traço e a massa específica dos agregados tem influência direta e independente sobre a resistência. Sendo assim, quanto mais pobre o traço, menor as resistências. Na influência da massa específica, a análise mostra que, somente o agregado reciclado de massa específica de $2,2 \text{ g/cm}^3$, a menor das estudadas no escopo deste trabalho, apresenta comportamento diferente das demais massas específicas, sendo a única que representa um decréscimo de resistência no concreto.

Do ponto de vista da resistência à tração por compressão diametral, as diversas massas específicas não apresentam relação significativa com os resultados, nem de forma independente nem relacionada com o traço. Segundo a análise, os traços são significativos para o comportamento do concreto na resistência à tração por compressão diametral, sendo os traços em massa de 1:3,5 e 1:5,0 tendo resultados melhores que o traço mais pobre 1:6,5. No entanto, esse comportamento foge do esperado, no qual os três traços teriam comportamentos diferentes.

O módulo de deformação do concreto sofre influência direta da massa específica dos agregados e do traço utilizado para o concreto. De acordo com os dados obtidos, o concreto com agregado natural tem um desempenho superior aos concretos com agregado reciclado de concreto, dentre eles, a massa específica $2,6 \text{ g/cm}^3$ e $2,4*2,6 \text{ g/cm}^3$ apresentam um desempenho superior as demais massas específicas. O comportamento de acordo com o traço utilizado é o esperado sendo o traço em massa de 1:3,5 superior ao traço de 1:5 que por sua vez é superior ao traço de 1:6,5.

O ensaio de absorção de água por capilaridade demonstrou que todos os aspectos envolvidos, massas específicas, traços e tempo de absorção têm significância para os resultados. Avaliando os traços independentemente, pode-se afirmar que no traço rico, 1:3,5, todos os agregados apresentam o mesmo comportamento durante o tempo. No traço pobre, 1:6,5, a massa específica de 2,2 g/cm³ apresenta resultados diferentes dos demais agregados, sendo as massas específicas de 2,4 g/cm³, 2,4*2,6 g/cm³ e 2,6 g/cm³ tendo a mesma resposta do que o agregado natural. Ao se analisar o traço médio, 1:5,0, o comportamento dos concretos não seguiu o comportamento esperado pela bibliografia, principalmente na massa específica de 2,6 g/cm³. No entanto, pode-se afirmar que a importância dos agregados na absorção de água por capilaridade é inversamente proporcional ao teor de aglomerante.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os dados demonstrados nesse trabalho, a massa específica de 2,2 g/cm³ do agregado reciclado de concreto tem um comportamento diferencial das demais massas específicas estudadas, sendo prejudicial as características mecânicas. Sugere-se o estudo do comportamento do concreto utilizando diferentes percentuais do agregado reciclado de concreto de massa específica de 2,2 g/cm³ combinado com os demais agregados reciclados de concreto com massas específicas mais elevadas, para viabilizar o uso deste material.

O enfoque dos estudos desse trabalho foram os ensaios de propriedades mecânicas, comprovando que os concretos feitos com agregados reciclados de concreto apresentam a mesma resposta aos ensaios que os concretos com agregado natural, exceto para agregados reciclados de massa específica de 2,2 g/cm³. Sugere-se o estudo das respostas de concretos utilizando estes agregados sob o ponto de vista de durabilidade, para comprovar a eficácia do material.

No escopo deste trabalho, o material foi separado em massas específicas diferentes pelo método dos líquidos densos. Esse método é de difícil aplicabilidade em grande escala pelo elevado preço e pela toxicidade dos materiais envolvidos. Sugere-se refazer esse trabalho utilizando um material separado pelo jigue pneumático para comparações dos resultados e verificar sua possível utilização in loco.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, F. J. A. **Caracterização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) para uso em camadas drenantes de aterros de resíduos sólidos**. 2005. 161p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2005/teses/AFFONSO_FJA_05_t_M_int.pdf>. Acesso em: 26 out. 2005.

AGUIAR, G.; SELMO, S. M. S. **An inicial analysis of the effect of gypsum plaster in recycled mortars from C&D waste**. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 2004, Barcelona, Espanha. p. 493-502. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 21 out. 2005.

AJDUKIEWICZ, A. & KLISZCZEWICZ, A. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC . *Cement and Concrete Composites*, 24(2), 269-279. 2002.

AKHTARUZZAMAN, A. A.; HASNAT, A. **Properties of concrete using crushed brick as aggregate**. *Concrete International*, February, p. 58-63, 1983.

AMARAL FILHO, J. R. **Aproveitamento de rejeitos de carvão em Santa Catarina, Brasil**. 2014. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 167p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

ANGULO, S. C.; KAHN, H.; JOHN, V. M.; ULSEN, C. Metodologia da caracterização de resíduos de construção e demolição. In.: seminário desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil – materiais reciclados e suas aplicações, 6., 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: IBRACON, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998

_____. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8522**: concreto – determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004b.

BAIRAGI, N. K.; RAVANDE, K.; PAREEK, V. K. Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, Vol. 9, p. 109-126, 1993.

BARCELLOS, H. O. **Jigagem de minérios itabiríticos**. 2010. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1998.

BIGOLIN, M. **Indicadores de desempenho para blocos de concreto**: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD. 2013. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BIOCYCLE. **Canada targets C&D debris**. v. 32, n. 1, p. 35-36, jan. 1991.

BRITO, J. de; PEREIRA, A. S.; CORREIA, J. R. Mechanical behavior of non-structural concrete made with recycled aggregates. **Cement & Concrete Composites**, Vol. 27, N. 4, pg 429-433, 2005.

CABRAL, A.E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. PP. V.; COSTA, D. B. Características do entulho e do agregado reciclado. In: **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção** / Organizado por Alex Pires Carneiro, Irineu Antônio Schadach de Brum e José Clodoaldo da Silva Cassa. Salvador: EDUFBA; 312 p.; 2001; p. 144- 187.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

CARRIJO, P. M.; FIGUEIREDO, A. D. de. **Análise do desempenho mecânico de concretos com agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição reciclados separados por densidade**. São Paulo: EPUSP, 2005. Boletim Técnico PCC n. 410.

CHAVEs, A.P. **Teoria e prática no tratamento de minérios**. São Paulo: Signus, 1996.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

CORDEIRO, L. de N. P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade dos concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto (AGRC)**. 2013. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CORREA, A. A. B. **Propriedades mecânicas de concretos com agregados reciclados: estudo de redução da variabilidade em concretos utilizando agregados submetidos à separação por jigagem a**. 2014. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

COSTA, A. C. F. **Os caminhos dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Porto Alegre/RS: da origem ao destino final**. 1998. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

COUTINHO, A. - Fabrico e propriedades do betão. Vol. I, II e III, LNEC, Lisboa, 2000

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397-401, may 2007.

FÁBRICA DE AÇO PAULISTA –FAÇO. **Manual de Britagem**, 4. Ed. São Paulo, 1985.

FONSECA, F. B. Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados, IBRACON, 2007

GALLIAS, J.L. Action of gypsum on recycled aggregate concrete. In: CIB BUILDING CONGRESS – MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION. Suíça, 1998. p.175-82.

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. V. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: na experimental study. **Cement and Concrete Research**, Vol. 32, p. 1301-1311, 2002.

GONÇALVES, A.; NEVES, R. “Agregados reciclados”, Seminário sobre agregados, LNEC, Lisboa, 2003.

HAMASSAKI, L.T. *HW_DO_* Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: **RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL**. São Paulo, 1997. **Anais**. São Paulo (EPUSP), 1997. p.11-20.

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

HARDER, M.K.; FREEMAN, L.A. Analysis of the volume and composition of construction waste arriving at landfill. In: **SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT**. Paris, 1997. 3URFHHGLQJV. Paris, 1997. p.595-602.

ISAIA, G. E., et al., **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, reciclados de rejeitos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: **WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1996.

KAHLOO, A. R. Properties of concrete using crushed clinker brick as coarse aggregate. **ACI Materials Journal**, Vol.91, N. 2, July-August, p. 401-407, 1994

KATZ, A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. **Cement and Concrete Research**. 2236, p. 1-9, 2002.

KHALAF, F. M.; DeVENNY, A. Performance of brick aggregate concrete at high temperatures. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 16, N. 06, pg. 556- 565, 2004b

LANZELLOTTI, R. F. A. **Desenvolvimento de fluxograma para beneficiamento de resíduos da construção civil**. 2005. 114p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/teses/0312483_05_cap_05.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.

LARRAÑAGA, M. E. **Experimental study on microstructure and structural behavior of recycled aggregate concrete**. 2004. 230p. Tese (Doutorado). Departament d' Enginyeria de la Construcció. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

LAURITZEN, K.E. Emergency construction waste management. **Safety Science**. n.30, p.45-53, 1998

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 194p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2002. 12p.

LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. Reciclagem do entulho em canteiros de obra, influência do material cerâmico na qualidade de novas argamassas. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL. São Paulo, 1997b. **Anais**. São Paulo (PCC/EPUSP), 1997b. p.44-55.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

LIMBACHIYA, M. C.; LEELAWAT, T.; DHIR, R. K. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. **Materials and Structures**, Vol. 33, November, p. 574-580, 2000.

LOPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. **Cerâmica**, v. 51, n. 320, p. 318-324, out./dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000400003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 07 nov. 2016

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

LYRA SOBRINHO, A. C. P. de; AMARAL, A. J. R. do; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. R. A. **Gipsita** – Balanço mineral brasileiro. Recife: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Trabalhos/Balanco_Gipsita_02.pdf> Acesso em: 15 nov. 2016.

MATOS, R. S. C.; Estudo da eficácia de separação de partículas de concreto provenientes de resíduos de construção e demolição. 2016. Trabalho de conclusão de curso, Puc-RS.

MARMASH, B. The properties of recycled precast concrete hollow core slabs for use as replacement aggregate in concrete. **Waste Materials in Construction**. N.º 1. 2000. p. 773

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

MASSUNARI, I. S. Plano diretor para disposição final de resíduos sólidos na RMSP. In: **SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA**, 7. Curitiba, 2000. ABLP, 2000

MEYER,C.;BAXTER,S.;JIN,W. Glascrete – Concrete with crushed waste glass aggregate. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING MATERIALS**. Canadá, 1997. 3URFHHGLQJV. Canadá, 1997. p.735-41.

NAGATAKI, S., GOKCE, A., SAEKI, T., HISADA, M. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research*, v. 34, p. 965-971, 2004

NAWA, T. Recycling of concrete. HOKKAIDO UNIVERSITY WORKSHOP. 2004. Disponível em: <http://www.eng.hokudai.ac.jp/COE-area/workshop/pdf/05feb4_nawa.pdf>.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, c2013.

OIKONOMOU, N. D. Recycled concrete aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, n. 2, p. 315-318, feb. 2005.

OLIVEIRA, M. B.; VAZQUEZ, E. The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete. **Waste Management**, v. 16, n. 1-3, p. 113-117, 1996.

OLIVEIRA, M. J. E.; ASSIS, C. S. Estudo da deterioração de concreto proveniente da demolição de obras de construção civil e seu comportamento em relação ao meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41., 1999, Salvador. **Anais eletrônicos... IBRACON**, 1999.

OLIVEIRA, M. J. E.; ASSIS, C. S.; MATTOS, J. T. Recycled aggregate standardization in Brazil. **CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AND STRUCTURES**. Espanha, 2004a. Disponível em: <<http://congress.cimne.upc.es/rilem04/frontal/Papers.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

PADMINI, A. K.; RAMAMURTHY, K.; MATHEWS, M. S. Relative moisture movement through recycled aggregate concrete. **Magazine of Concrete Research**, Vol. 54, N. 5, pg. 377-384, 2002.

PERA, J. State of the art report - use of waste materials in construction in western Europe. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 1-20.

PINTO, T. P. . Reaproveitamento de resíduos de construção. *Revista Projeto*, n. 98,p. 137-138, 1987.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In *Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil (Workshop)*, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1996.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials*, Vol. 16, p. 281-289, 2002.

QUEBAUD, M. **Caracterisation des granulats etude de la composition et du comportement de betons incluant ces granulats**. França, 1996. 247p. Tese (Doutorado)- Universidade d'Artois

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

RASHWAN, M. S.; ABOURIZK, S. The properties of recycled concrete. *Concrete International*, v. 19, n. 7, p. 56-60, july 1997.

RAVINDRARAJAH, S. R.; TAM, C. T. Recycling concrete as fine aggregates in concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 9, N. 4, 1987b

RILEM RECOMMENDATION. Specifications for concrete with recycled aggregates. 121-DRG guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. *Materials and Structures*, Vol. 27, p. 557-559, 1994.

RODRIGUES, C. C. **V Desenvolvimento de um sistema construtivo modular com blocos de gesso**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2008.

SAMPAIO, C. H.; TAVARES, L. M. M. **Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de minerais por densidade**. Porto Alegre: UFRGS editora, 2005.

SANCHEZ, M. (2004) – **Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. Tese de Doutorado em Construção, Universidade Politécnica de Madrid, Madrid.

SCHULTMANN, F. et al. Strategies for the quality improvement of recycling materials. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT**, 2. Paris, 1997. p.611-18.

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, Ch. F. Recycling of masonry rubble. In: HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. Part Two, p.161-255. (RILEM TC Report 6).

SOUZA, V. C. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas**. São Paulo: Pini, 1998.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and Concrete Research**, Vol. 35, p. 1195-1203, 2005.

TELLES, A. C. S. S. **Operações unitárias I: sistemas particulados – notas de aula**. Disponível em: <http://www.lscp.pqi.ep.usp.br/disciplinas/pqi2303/arquivos/Apostila%20Particulados%202013.pdf> >. Acesso em: 10 nov. 2016.

TERRO, M. J. Properties of concrete made with recycled crushed glass at elevated temperatures. **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 633-639, may 2006

TOPÇU, I. B.; SENDEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. **Cement and Concrete Research**, Vol. 34, pg. 1307-1312, 2004.

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

VALDUGA, L. **Influência das condições de ensaio da ASTM C 1260 na verificação da reação álcali-agregado**. 2007. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VÁZQUEZ, E. Recycling of aggregates in Spain. International Workshop on Recycled Aggregate. **Proceedings**. Niigata, Japan. pp. 27-41, 2000.

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

XIAO, J.; FALKNER, H. Bond behavior between recycled aggregate concrete and steel rebars. **Construction and Building Materials**, Vol. 21, pg. 395-401, 2007.

XIAO, J.; LI, J.; ZHANG, Ch. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. **Cement and Concrete Research**, Vol. 35, pg. 1187-1194, 2005.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F. WIRQUIN, E. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, Vol. 25, pg. 223-232, 2003.

ZAKARIA, M.; CABRERA, J. G. Performance and durability of concrete made with demolition waste and artificial fly ash-clay aggregates. **Waste Management**, Vol. 16, N. 1-3, p. 151-158, 1996.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** 1997.156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ZORTEA, F. **Características mecânicas de concretos produzidos com materiais cerâmicos reciclados: estudo da redução da variabilidade usando separação dos agregados por densidade.** 2014. 97p. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ANEXO A

Valores de resistência à compressão

Compressão											
Densidade	Traço	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Med.	Comp. 1	Comp. 2	Comp. Med.	Peso	Resultado Kn	Tensão lida MPa	Tensão Calculada
Ref	1:3,5	10	10	10	19,7	19,7	19,7	3693,7	266	33,87	33,87
Ref	1:3,5	10,01	9,964	9,987	19,61	19,64	19,625	3608,6	267,3	34,034	34,12
Ref	1:3,5	10	9,947	9,9735	19,67	19,64	19,655	3688	287,2	36,57	36,76
Ref	1:5,0	10	9,955	9,9775	19,55	19,52	19,535	3601,6	198,4	25,26	25,38
Ref	1:5,0	10	10,1	10,05	19,68	19,73	19,705	3648,2	217,5	27,7	27,42
Ref	1:5,0										
Ref	1:6,5	10,04	10,04	10,04	19,65	19,71	19,68	3725,1	150,1	19,11	18,96
Ref	1:6,5	10,05	9,96	10,005	19,66	19,69	19,675	3660,7	134,5	17,13	17,11
Ref	1:6,5										
2,2	1:3,5	9,91	10,08	9,995	19,8	19,82	19,81	3348,3	248,1	31,59	31,62
2,2	1:3,5	9,951	10,1	10,0255	19,75	19,77	19,76	3329,7	251,5	32,02	31,86
2,2	1:3,5										
2,2	1:5,0	10,03	9,96	9,995	19,92	19,86	19,89	3366,3	191,7	24,41	24,43
2,2	1:5,0	10,05	9,941	9,9955	19,58	19,56	19,57	3317,8	172,8	22	22,02
2,2	1:5,0	10,04	10,02	10,03	19,64	19,62	19,63	3386,6	180,5	22,98	22,84
2,2	1:6,5	10,16	9,963	10,0615	19,57	19,55	19,56	3389	118,6	15,09	14,92
2,2	1:6,5	10,03	9,984	10,007	19,71	19,77	19,74	3393,7	118,3	15,06	15,04
2,2	1:6,5										
2,6	1:3,5	10,04	10,01	10,025	19,85	19,83	19,84	3452,5	275,4	35,06	34,89
2,6	1:3,5	10,04	10,05	10,045	19,66	19,7	19,68	3476,1	279,3	35,56	35,24
2,6	1:3,5										

Características mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto após separação por densidade

2,6	1:5,0	10,04	10,02	10,03	19,47	19,46	19,465	3443,1	183,1	23,32	23,17
2,6	1:5,0	10,01	9,98	9,995	19,48	19,46	19,47	3414,7	217,6	27,63	27,73
2,6	1:5,0										
2,6	1:6,5	10,04	10,08	10,06	19,47	19,5	19,485	3440,9	148,8	18,94	18,72
2,6	1:6,5	10,05	9,97	10,01	19,58	19,57	19,575	3449,1	145,6	18,53	18,50
2,6	1:6,5										
2,4	1:3,5	9,95	10,01	9,98	19,47	19,48	19,475	3181,7	263,2	33,51	33,65
2,4	1:3,5	10,05	10,04	10,045	19,67	19,69	19,68	3215,4	270	34,37	34,07
2,4	1:3,5										
2,4	1:5,0	10,14	10,08	10,11	19,49	19,53	19,51	3252,1	236,3	30,09	29,44
2,4	1:5,0	10,12	10,07	10,095	19,65	19,61	19,63	3257,4	237,7	30,26	29,70
2,4	1:5,0										
2,4	1:6,5	10,02	10,08	10,05	19,43	19,46	19,445	3215,5	160,2	20,46	20,19
2,4	1:6,5	10,11	9,93	10,02	19,64	19,66	19,65	3250,4	177,9	22,65	22,56
2,4	1:6,5										
2.4*2.6	1:3,5	10,02	10,03	10,025	19,75	19,77	19,76	3398,1	274,7	34,98	34,80
2.4*2.6	1:3,5	10,1	9,96	10,03	19,62	19,58	19,6	3350	284,5	36,23	36,01
2.4*2.6	1:3,5										
2.4*2.6	1:5,0	9,94	10,13	10,035	19,73	19,67	19,7	3376,4	249,7	31,79	31,57
2.4*2.6	1:5,0	10,02	10,08	10,05	19,7	19,61	19,655	3369,7	247	31,45	31,14
2.4*2.6	1:5,0										
2.4*2.6	1:6,5	10,01	10,08	10,045	19,34	19,39	19,365	3306,4	174,3	22,19	21,99
2.4*2.6	1:6,5	10,07	10,1	10,085	19,36	19,33	19,345	3351,7	180,3	22,96	22,57
2.4*2.6	1:6,5										
Ref	1:5,0	10,03	10,1	10,065	19,71	19,73	19,72	3680,9	237	30,27	29,79
Ref	1:5,0	10,08	9,98	10,03	19,78	19,75	19,765	3689,4	216,5	27,57	27,40
Ref	1:5,0										

ANEXO B

Valores de resistência à tração por compressão diametral.

Tração										
Densidade	Traço	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Med.	Comprimento 1	Comprimento 2	Comprimento Med.	Peso	Resultado Kn	Calculada Kn
Ref	1:3,5	9,903	9,902	9,9025	19,7	19,72	19,71	3702,1	0	0
Ref	1:3,5	10,09	9,9	9,995	19,79	19,56	19,675	3671,8	113	3,658145936
Ref	1:3,5	10,04	10,02	10,03	19,54	19,61	19,575	3689,9	112	3,631578547
Ref	1:5,0	10,01	10,07	10,04	19,71	19,71	19,71	3722,9	91,5	2,943614137
Ref	1:5,0	10,03	9,99	10,01	19,61	19,61	19,61	3709	72,8	2,361020898
Ref	1:5,0	9,82	10	9,91	19,74	19,72	19,73	3731,6	105,3	3,428528425
Ref	1:6,5	10,01	9,97	9,99	19,56	19,59	19,575	3674,7	68,3	2,223481742
Ref	1:6,5	9,96	10,03	9,995	19,5	19,48	19,49	3644,6	73,3	2,395462961
Ref	1:6,5	10,01	9,98	9,995	19,58	19,61	19,595	3665,4	54,7	1,778031223
2,2	1:3,5	9,98	10,01	9,995	19,71	19,62	19,665	3388,7	102,2	3,310200269
2,2	1:3,5	9,95	10,07	10,01	19,72	19,73	19,725	3403	89,4	2,882481658
2,2	1:3,5	10,07	9,94	10,005	19,73	19,71	19,72	3368,3	91,1	2,939506984
2,2	1:5,0	9,93	9,98	9,955	19,74	19,68	19,71	3362,7	78,3	2,540469565
2,2	1:5,0	10,05	10,01	10,03	19,62	19,62	19,62	3360,2	69,4	2,24512051
2,2	1:5,0									
2,2	1:6,5	9,93	10,07	10	19,61	19,65	19,63	3336	0	0
2,2	1:6,5	9,92	10,01	9,965	19,54	19,5	19,52	3352,8	63,1	2,065153634
2,2	1:6,5	9,93	9,94	9,935	19,27	19,33	19,3	3286,6	49,8	1,653424183
2,6	1:3,5	10	10	10	19,6	19,59	19,595	3507,9	85,6	2,781048865
2,6	1:3,5	10,03	10,02	10,025	19,7	19,69	19,695	3524,5	76,9	2,479511326
2,6	1:3,5	10,07	10,05	10,06	19,66	19,73	19,695	3508,9	94,5	3,036392889
2,6	1:5,0	9,94	9,99	9,965	19,71	19,641	19,6755	3494,1	74,7	2,4254797

Características mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto após separação por densidade

2,6	1:5,0	10,07	9,97	10,02	19,64	19,6	19,62	3501,1	69,2	2,240884604
2,6	1:5,0	10,02	10,03	10,025	19,5	19,55	19,525	3476	69,8	2,270179103
2,6	1:6,5	9,9	10,08	9,99	19,62	19,57	19,595	3467,7	43,8	1,424437759
2,6	1:6,5	10	9,97	9,985	19,62	19,67	19,645	3461,9	50,9	1,651953441
2,6	1:6,5	9,98	9,95	9,965	19,6	19,6	19,6	3458,6	54,6	1,779669638
2,4	1:3,5	10,05	10,08	10,065	19,68	19,4	19,54	3361,4	64,7	2,094334587
2,4	1:3,5	9,94	9,98	9,96	19,62	19,68	19,65	3314,6	58,3	1,896386193
2,4	1:3,5	9,98	10,03	10,005	19,55	19,58	19,565	3327,8	46,5	1,512293657
2,4	1:5,0	9,93	9,91	9,92	19,53	19,59	19,56	3302,5	90	2,952854921
2,4	1:5,0	9,96	9,98	9,97	19,67	19,72	19,695	3331,2	69,1	2,240304374
2,4	1:5,0	10,05	9,94	9,995	19,44	19,46	19,45	3288,3	55,6	1,820759189
2,4	1:6,5	10,07	9,91	9,99	19,29	19,31	19,3	3257,6	49,6	1,637717547
2,4	1:6,5	9,96	9,98	9,97	19,36	19,32	19,34	3250,2	62,5	2,063519191
2,4	1:6,5	9,94	10,01	9,975	19,3	19,39	19,345	3274,7	73	2,408359663
2.4*2.6	1:3,5	10,05	10,07	10,06	19,67	19,67	19,67	3495,9	87	2,79896221
2.4*2.6	1:3,5	10,06	10,06	10,06	19,76	19,77	19,765	3510,2	72,6	2,324459289
2.4*2.6	1:3,5	10,06	10,03	10,045	19,79	19,74	19,765	3494,7	78,9	2,529940844
2.4*2.6	1:5,0	10,03	10,02	10,025	19,68	19,65	19,665	3475,4	99,6	3,216333909
2.4*2.6	1:5,0	10,05	10,01	10,03	19,71	19,72	19,715	3442,5	53,6	1,725628076
2.4*2.6	1:5,0	10,01	10,03	10,02	19,75	19,84	19,795	3456,7	105,1	3,37333608
2.4*2.6	1:6,5	10,01	10	10,005	19,72	19,7	19,71	3425,5	63,8	2,059667349
2.4*2.6	1:6,5	10,01	9,98	9,995	19,47	19,49	19,48	3384,8	62	2,027216169
2.4*2.6	1:6,5	9,97	10,1	10,035	19,33	19,27	19,3	3368,5	53,7	1,765142301
Ref	1:5,0	9,93	10,1	10,015	19,8	19,81	19,805	3732,3	112	3,594780236
Ref	1:5,0	9,91	10,1	10,005	19,7	19,69	19,695	3704,8	57,9	1,870620152
Ref	1:5,0	9,92	10,1	10,01	19,79	19,84	19,815	3713,4	71,9	2,307708019

ANEXO C

Valores de módulo de deformação.

Módulo									
Densidade	Traço	Diametro 1	Diametro 2	Diametro Med.	Comprimento 1	Comprimento 2	Comprimento Med.	Peso	Resultado Gpa
Ref	1:3,5	10,16	9,87	10,015	19,67	19,71	19,69	3675,1	38,2
Ref	1:3,5	10,06	9,97	10,015	19,89	19,9	19,895	3744,1	50,1
Ref	1:3,5								
Ref	1:5,0	10,06	9,96	10,01	19,62	19,62	19,62	3690,2	37,1
Ref	1:5,0	9,9	10	9,95	19,59	19,51	19,55	3673,4	29,5
Ref	1:5,0								
Ref	1:6,5	10,03	10	10,015	19,39	19,39	19,39	3638,4	27,7
Ref	1:6,5	9,95	9,96	9,955	19,54	19,56	19,55	3662,7	28
Ref	1:6,5	10,06	9,96	10,01	19,54	19,52	19,53	3683,4	32
2,2	1:3,5	10,08	9,94	10,01	19,61	19,6	19,605	3378,9	25,3
2,2	1:3,5	10,15	10,06	10,105	19,62	19,63	19,625	3417	28,7
2,2	1:3,5								
2,2	1:5,0	10,07	10,06	10,065	19,79	19,83	19,81	3390	26,5
2,2	1:5,0	9,97	10,02	9,995	19,56	19,5	19,53	3372	23,7
2,2	1:5,0								
2,2	1:6,5	9,93	10	9,965	19,37	19,35	19,36	3322,7	21,7
2,2	1:6,5	9,93	10,03	9,98	19,65	19,66	19,655	3369	21,1
2,2	1:6,5								
2,6	1:3,5	9,98	10,11	10,045	19,54	19,54	19,54	3523,3	29,2
2,6	1:3,5	9,94	10,06	10	19,64	19,64	19,64	3493,2	29,1

Características mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto após separação por densidade

2,6	1:3,5	10,06	10,06	10,06	19,6	19,6	19,6	3508,2	29,8
2,6	1:5,0	9,94	10,06	10	19,55	19,55	19,55		28,2
2,6	1:5,0	9,95	9,93	9,94	19,71	19,71	19,71		28,6
2,6	1:5,0	10,02	10,08	10,05	19,62	19,62	19,62	3515,9	27,7
2,6	1:6,5	10,08	9,98	10,03	19,77	19,77	19,77	3512,8	27,8
2,6	1:6,5	9,9	9,97	9,935	19,6	19,6	19,6	3450,2	28,8
2,6	1:6,5	9,9	10	9,95	19,69	19,69	19,69	3453,6	26,2
2,4	1:3,5	10,03	9,96	9,995	19,48	19,4	19,44	3317,6	24,5
2,4	1:3,5	10,03	9,98	10,005	19,62	19,63	19,625	3340,8	26,4
2,4	1:3,5								
2,4	1:5,0	10,04	10,08	10,06	19,44	19,47	19,455	331,6	17,6
2,4	1:5,0	10,06	9,91	9,985	19,54	19,57	19,555	3318,5	24,5
2,4	1:5,0	10,08	10,03	10,055	19,57	19,67	19,62	3381,1	19,9
2,4	1:6,5	10	9,97	9,985	19,34	19,39	19,365	3362,2	21,6
2,4	1:6,5	10,11	9,98	10,045	19,18	19,2	19,19	3274,6	14,1
2,4	1:6,5	10,03	9,94	9,985	19,34	19,41	19,375	3299,4	20,5
2.4*2.6	1:3,5	9,98	10,05	10,015	19,78	19,82	19,8	3499,9	10,7
2.4*2.6	1:3,5	10,1	10,01	10,055	19,85	19,88	19,865	3489,9	15,9
2.4*2.6	1:3,5								
2.4*2.6	1:5,0	9,93	10,03	9,98	19,61	19,6	19,605	3433,8	28,2
2.4*2.6	1:5,0	9,89	10,12	10,005	19,74	19,7	19,72	3447,1	26,5
2.4*2.6	1:5,0	9,98	10,07	10,025	19,6	19,65	19,625	3428,6	26,7
2.4*2.6	1:6,5	10,03	10,03	10,03	19,48	19,55	19,515	3428,6	21,7
2.4*2.6	1:6,5	9,92	9,96	9,94	19,62	19,6	19,61	3428,6	28,8
2.4*2.6	1:6,5								

ANEXO D

Valores da absorção por capilaridade.

Densidade	Traço	Diametro	Peso Seco	Peso (g) 6h	Peso (g) 12h	Peso (g) 24h	Peso (g) 48h	Peso (g) 72h	Abs 6h	Abs 12h	Abs 24h	Abs 48h	Abs 72h
2,2	1:3,5	9,995	3292,3	3317,9	3327,7	3347,3	3361,7	3373,8	0,326276	0,451178	0,700983	0,884513	1,038729
2,2	1:3,5	10,0255	3251,1	3280	3295,5	3329,6	3354,6	3376,8	0,366097	0,562446	0,994415	1,311108	1,592331
2,2	1:5,0	9,99	3272,9	16:48	3328,8	3370,2	3401,7	3428,7	0,482249	0,713167	1,241344	1,643217	1,987681
2,2	1:5,0	9,99	3223,7	3268,2	3289,7	3335,7	3368,2	3397,3	0,567726	0,842021	1,428885	1,843516	2,214771
2,2	1:6,5	10,0615	3217,2	3283	3314,3	3384	3438	3482,1	0,827581	1,221248	2,09788	2,77705	3,331706
2,2	1:6,5	10,007	3245,9	3306,1	3338	3407,3	3458,6	3504,9	0,765418	1,171014	2,052135	2,704393	3,293078
2,4	1:3,5	9,98	3149,2	3177,3	3186,8	3207	3221,3	3235,4	0,359216	0,480659	0,738885	0,921689	1,101936
2,4	1:3,5	10,045	3156,4	3188,4	3203	3229,7	3248,1	3262,2	0,403794	0,588025	0,924941	1,157123	1,335045
2,4	1:5,0	10,095	3219	3246,5	3257,9	3278,3	3293,2	3305,9	0,343582	0,486012	0,740887	0,927046	1,085719
2,4	1:5,0	10,11	3203,7	3231,2	3246,1	3277,2	3299,6	3317,5	0,342563	0,52817	0,915578	1,194611	1,417588
2,4	1:6,5	10,05	3115,7	3158,9	3179,1	3279,4	3259,3	3289,1	0,54458	0,799222	2,063605	1,810224	2,185884
2,4	1:6,5	10,02	3205	3235,7	3249,6	3225	3301,7	3322,2	0,389326	0,5656	0,253632	1,226312	1,486286
2.4*2.6	1:3,5	10,03	3309,1	3333,8	3342,5	3359,5	3371,2	3380,9	0,312612	0,422722	0,63788	0,785959	0,908725
2.4*2.6	1:3,5	10,025	3363,7	3392,3	3402,7	3425,9	3440,9	3454	0,362333	0,49409	0,78801	0,978045	1,144008
2.4*2.6	1:5,0	10,05	3325,3	3348,2	3357,5	3378	3390,5	3401	0,288678	0,405914	0,664337	0,821913	0,954276
2.4*2.6	1:5,0	10,035	3354	3380,1	3389,6	3406,6	3418,3	3428,7	0,330001	0,450117	0,66506	0,812992	0,944487
2.4*2.6	1:6,5	10,045	3235,4	3268,7	3289,1	3336,2	3371,7	3404,3	0,420198	0,677617	1,271952	1,719911	2,131277

Características mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto após separação por densidade

2.4*2.6	1:6,5	10,085	3265,3	3289,2	3309,6	3356	3390,1	3419,2	0,299196	0,554577	1,135444	1,56233	1,926624
2,6	1:3,5	10,025	3411,5	3436,6	3447,3	3469,1	3485,2	3498,9	0,317991	0,453549	0,729733	0,933703	1,107268
2,6	1:3,5	10,045	3424,9	3444,8	3458,3	3490	3513,7	3531,4	0,25111	0,42146	0,821469	1,120529	1,343878
2,6	1:5,0	9,995	3347,6	3385,4	3403,6	3442,7	3472,5	3499	0,481766	0,713728	1,212063	1,591868	1,929614
2,6	1:5,0	10,03	3347,9	3379,9	3396,4	3431	3456,6	3476,7	0,405003	0,613833	1,051742	1,375745	1,630137
2,6	1:6,5	10,06	3353,3	3398,7	3422,2	3476,5	3519,1	3554,2	0,571176	0,866829	1,549976	2,085925	2,527517
2,6	1:6,5	10,01	3354,2	3395,8	3415,5	3459,1	3491,5	3517,5	0,52861	0,778937	1,332961	1,744667	2,075048
Ref	1:3,5	10	3679	3701,6	3710,4	3728,3	3742,6	3753,7	0,287752	0,399797	0,627707	0,80978	0,95111
Ref	1:3,5	9,987	3559,9	3585,8	3598	3622,1	3640,3	3654,9	0,330628	0,486368	0,794018	1,026351	1,212729
Ref	1:5,0	10,065	3649,5	3669,1	3681,6	3707,8	3725,8	3741,1	0,246342	0,403448	0,732742	0,958975	1,151272
Ref	1:5,0	10,03	3668,5	3693,8	3704,3	3726,2	3740,3	3752,7	0,320205	0,453097	0,730271	0,908725	1,065664
Ref	1:6,5	10,005	3581,7	3619,8	3640,1	3686,7	3722,4	3753,6	0,48462	0,742829	1,335566	1,789658	2,186512
Ref	1:6,5	10,4	3627,4	3674,9	3698,6	3750,9	3789,7	3823,6	0,559161	0,838153	1,453819	1,910566	2,30963