



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Programa de Engenharia Urbana

ALMIR DOS SANTOS VIDAL

**CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO
COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM AMBIENTE
URBANO.**

RIO DE JANEIRO

2014



UFRJ

ALMIR DOS SANTOS VIDAL

CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO
COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO
EM PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM AMBIENTE URBANO.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez

Coorientadora: Ana Catarina Jorge Evangelista

RIO DE JANEIRO

2014

Vidal, Almir dos Santos.

Caracterização de concreto produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano / Almir dos Santos Vidal. - 2014

131 f.: 82 il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2014.

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez e Ana Catarina Jorge Evangelista

1. Resíduo de Construção. 2. Resíduo de Demolição. 3. Pavimentos permeáveis. 4. Ambiente Urbano. I. Vazquez, Elaine Garrido; Evangelista, Ana Catarina Jorge. II Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Título.



UFRJ

CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM AMBIENTE URBANO

Almir dos Santos Vidal

Orientadora: Elaine Garrido Vazquez

Coorientadora: Ana Catarina Jorge Evangelista

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof^a. Elaine Garrido Vazquez, D. Sc. Poli/UFRJ

Prof^a. Ana Catarina Jorge Evangelista, D. Sc. Poli/UFRJ

Prof. Marcelo Gomes Miguez, D. Sc. Poli/UFRJ

Prof.^a Maria Elizabeth da Nobrega Tavares, D Sc.,FEN/UERJ

RIO DE JANEIRO

2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa e aos meus três filhos, razões da minha vida e de todas as conquistas até aqui alcançadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Prof^a D. Sc. Elaine Garrido Vazquez, pelo tempo doado nas inúmeras orientações, pela paciência e pelos conhecimentos adquiridos, necessários para a realização deste trabalho.

Agradeço a minha coorientadora, Prof^a D. Sc. Ana Catarina Jorge Evangelista, por estar sempre disposto em me ajudar, elucidando as dúvidas relacionadas a esta pesquisa, em especial, na análise e discussões dos resultados obtidos.

A todos os professores do curso de Pós Graduação de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, que nos transmitiram conhecimento ao longo do curso.

A todos os colegas de turma, que apesar da não tão grande proximidade com todos, me sinto orgulhado de ter estado junto a eles na realização desta conquista.

A todos os funcionários do laboratório de Estrutura da COPPE/UFRJ, mas em especial ao Júlio, Clodoaldo, Flavio e o Ivan, que tanto ajudaram na realização dos ensaios de laboratório.

Aos funcionários da Holcim do Brasil, Jackson Willian, Regis Moura da Rocha e Fabio Aurélio Augustin, pela ajuda e realização dos ensaios de caracterização dos agregados reciclados.

Aos alunos da graduação, participantes do projeto de iniciação científica, Júlio Cezar Filho D'Hyppolito, Suelen de Oliveira Paixão e Laís Barros de Alvarenga, que ajudaram na caracterização dos materiais e moldagem dos corpos de provas, para a realização dos ensaios.

Ao meu gerente, Ricardo Bonfim Lustosa, que apoiou e contribuiu de uma forma extraordinária, para a realização desta conquista.

A minha querida mãe, Anna dos Santos Vidal, que sempre me acolheu e incentivou, em todas as etapas de minha e neste momento especial, na minha formação acadêmica.

Ao meu amado pai, Moacyr Gouvêa Vidal, responsável por toda a minha formação moral e intelectual, incansável no seu trabalho, para que não faltassem recursos material e humano, para minha formação acadêmica, que infelizmente não está aqui para presenciar está minha conquista, que tanto contribuiu.

E por fim, mas não menos importante, a Deus por ter me dado tantas oportunidades e felicidades e não me resta senão, agradecer a tudo e a todos.

RESUMO

VIDAL, Almir dos Santos. **Caracterização de concreto permeável produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O crescimento cada vez maior dos centros urbanos traz consigo sérios e vários problemas de infraestrutura, dentre o quais, os impactos causados pela geração de resíduos, pelo aumento das vazões de águas de chuva e que por consequência afetam o escoamento de águas pluviais. A reciclagem e a pavimentação permeável são medidas sustentáveis e que juntas podem ser uma das alternativas para mitigar esses impactos. Este estudo apresenta os resultados da etapa de ensaios experimentais para a produção de placas de concreto permeável, utilizando-se agregados graúdos reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD), como aplicação futura em escala urbana em pavimentação permeável. O estudo é composto pela caracterização das placas de concreto permeável e pela avaliação dos efeitos dos agregados de RCD sobre as propriedades do concreto permeável no estado fresco (teor de ar incorporado e trabalhabilidade) e sobre o estado endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade). Partindo-se dos resultados obtidos, foram produzidas placas de concretos permeáveis compostos por cinco tipos de misturas de concreto, que poderão ser aplicados como revestimento final em solos com perfis permeáveis. O estudo visa contribuir para a melhoria do conhecimento e desenvolvimento sobre uma das aplicações de elementos de concreto permeável em ambientes urbanos, buscando integrar duas medidas sustentáveis: uma, retendo as águas pluviais, diminuindo assim suas vazões nos condutos, canais e coletores específicos e a outra, reciclando os resíduos gerados pelas atividades da Construção Civil, principalmente dos recursos não renováveis, dando destinos aos mesmos, para evitar o puro e simples descarte.

Palavras-chave: resíduo de construção, resíduo de demolição, pavimentos permeáveis, ambiente urbano.

ABSTRACT

VIDAL, Almir dos Santos. **Characterization of permeable concrete produced with waste from construction and demolition for use in permeable paving in urban environment.** Rio de Janeiro, 2014 Thesis (MS) - Program of Urban Engineering, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

The increasing growth of urban centers brings several serious infrastructure problems, two of which are the impacts caused by waste generation and by the increased flow of rainwater thus affecting stormwater runoff. Recycling and permeable paving are sustainable measures which together can be one of the alternatives to mitigate these impacts. This study presents the results of experimental tests for the production of pervious concrete blocks, using recycled coarse aggregates from construction and demolition waste (CDW), as future application in urban scale in permeable paving. The study consists of the characterization of permeable concrete slabs as well as the evaluation of the effects of aggregates on the properties of CDW permeable fresh concrete (incorporated air content and workability) and the hardened state (compressive strength, tensile traction by diametrical compression, tensile strength in bending and modulus of elasticity). Taking into account the obtained results, compounds of permeable concrete slabs have been made out of five types of concrete mixtures, which may be applied as a final coating in soils with permeable profiles. The study aims to contribute to the improvement and development of knowledge about one of the elements of pervious concrete applications in urban environments in order to integrate two sustainable measures: one, retaining rainwater, thus reducing their flows in ducts, channels and specific collectors, and the other by recycling the waste generated by the activities of Civil Construction, mainly those of non-renewable resources, giving the same destinations, to avoid pure and simple disposal.

Keywords: construction waste, demolition waste, permeable pavements, urban environment.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	17
1.2	OBJETIVO.....	22
1.3	JUSTIFICATIVA.....	23
1.4	METODOLOGIA	25
1.5	ESTRUTURAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	25
2	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	27
2.1	HISTÓRICO.....	27
2.2	TERMINOLOGIA	30
2.3	PANORAMA SOBRE A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	31
2.3.1	Âmbito Federal.....	32
2.3.1.1	Resolução n.º 307 do - CONAMA (2002).....	34
2.3.1.2	Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat (PBPQ-H).....	35
2.3.1.3	Âmbito Estadual (Rio de Janeiro)	35
2.3.2	Âmbito Municipal (Rio de Janeiro).....	36
2.4	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	37
2.5	GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO (RCD).....	44
2.6	IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	48
2.7	COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO	52
2.8	BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO	55
2.8.1	Moagem.....	55
2.8.2	Equipamentos utilizados para beneficiamento do resíduo	56
2.8.2.1	Moinhos rotativos.....	56

2.8.2.2	Moinhos de martelo.....	57
2.8.2.3	Moinhos planetários	58
2.8.2.4	Moinhos vibratórios	59
2.8.2.5	Britador de impacto	59
2.8.2.6	Britador de mandíbula	60
2.9	PESQUISA E DESENVOLVIMENTO PARA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS	61
2.9.1	Identificação e quantificação dos resíduos disponíveis.....	61
2.9.2	Caracterização do resíduo	62
2.9.3	Custos associados aos resíduos	62
2.9.4	Seleção das aplicações a serem desenvolvidas.....	63
2.9.5	Avaliação do produto	63
2.9.6	Análise de desempenho ambiental	64
2.9.7	Desenvolvimento do produto	64
2.9.8	Aplicação – construção de concreto composto de agregados reciclados	65
3	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS ..	67
3.1	UTILIZAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO COMO AGREGADO	67
3.1.1	Composição granulométrica.....	68
3.1.2	Massa específica e massa unitária	69
3.1.3	Absorção de água	72
3.1.4	Concreto constituído de agregado reciclado	74
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO RECICLADO	74
3.2.1	Ar incorporado ao concreto	74
3.2.2	Trabalhabilidade	76
3.2.3	Resistência à compressão	78

3.2.4	Resistência à tração	80
3.2.5	Módulo de Deformação ou Elasticidade	82
4	ESTUDO EXPERIMENTAL	85
4.1	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	87
4.1.1	Água	87
4.1.2	Cimento	87
4.1.3	Agregados graúdos reciclados	88
4.1.4	Processo da produção dos agregados graúdos reciclados	89
4.2	PROPRIEDADES AVALIADAS DO CONCRETO.....	90
4.2.1	Teor de ar incorporado	91
4.2.2	Trabalhabilidade	91
4.2.3	Ensaio de resistência à compressão axial	92
4.2.4	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	93
4.2.5	Resistência à tração na flexão	94
4.2.6	Módulo de deformação ou elasticidade.....	96
4.3	METODOLOGIA DE PRODUÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO.....	96
4.3.1	Dosagem do concreto	96
4.3.2	Caracterização dos agregados utilizados	97
4.3.3	Mistura dos materiais	100
4.3.4	Moldagem dos corpos de prova das misturas com agregado reciclado	101
4.4	MOLDAGEM DAS PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL RECICLADO ...	102
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS	105
5.1	CONCRETO FRESCO	105
5.1.1	Ar incorporado ao concreto	105

5.1.2	Trabalhabilidade.....	107
5.2	CONCRETO ENDURECIDO	110
5.2.1	Resistência à compressão axial	110
5.2.2	Resistência à tração na compressão diametral	112
5.2.3	Resistência à tração na flexão	114
5.2.4	Módulo de elasticidade.....	116
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
7	BILBLOGRAFIA	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Origens do RCD em alguns Municípios Brasileiros (Miranda, L. F. R.; Angulo, S. C.; Careli, E. D.).....	28
Figura 2 – Três formas de geração de resíduos de construção e demolição.....	44
Figura 3 – Mediana da geração dos RCD em algumas cidades no Brasil (% em massa)	47
Figura 4 – Mediana da geração dos RCD nos EUA (% em massa)	47
Figura 5 – Composição média de resíduos da Construção Civil no Brasil	53
Figura 6 – Perda média de material de construção Civil no Brasil	54
Figura 7 – Moinho rotativo de bolas de fábrica de cimento Portland	57
Figura 8 – Representação esquemática do moinho de martelos	58
Figura 9 – Representação esquemática do moinho planetário	58
Figura 10 – Representação esquemática do moinho vibratório.....	59
Figura 11 – Triturador de impacto.....	60
Figura 12 – Britador de mandíbulas do LTM (Laboratório de Tecnologia Mineral da COPPE)	61
Figura 13 – Piso cerâmico – resíduo de construção	88
Figura 14 – Concreto – resíduo de demolição.....	88
Figura 15 – Triturador tipo mandíbula – Queixada 200.....	90
Figura 16 – Agregado graúdo após trituração dos blocos de concreto.....	90
Figura 17 – Material cerâmico com dimensões inadequadas para a pesquisa.....	90
Figura 18 – Material cerâmico selecionado.....	90
Figura 19 – Medidor de ar incorporado.....	91
Figura 20 – Abatimento do concreto convencional, com agregados.....	92
Figura 21 – Abatimento do concreto, com agregado reciclado de demolição	92
Figura 22 – Servo-controlada Shimadzu, para a realização dos ensaios de resistência à compressão axial.....	93
Figura 23 – Capeamento das superfícies inferior e superior dos corpos de provas.....	93
Figura 24 – Representação a resistência à tração por compressão diametral	94
Figura 25 – Corpo de prova posicionado na prensa, para realização do ensaio à compressão diametral.....	94
Figura 26 – a) Prensa Shimadzu, modelo UF-F 1000kNI. b) Posicionamento do corpo de provas, para o ensaio de tração	95
Figura 27 – Diagrama do ensaio de tração na flexão segundo a NBR 12142	95

Figura 28 – Agregados para caracterização no laboratório da Cimento Holcim.....	98
Figura 29 – Curva granulométrica dos agregados reciclados.....	99
Figura 30 – Concreto fresco com agregado reciclado	101
Figura 31 – a) Moldagem dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos. b) Corpo de prova prismático	101
Figura 31 – c) Corpo de prova cilíndrico	102
Figura 32 – Cura dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos em câmara úmida.....	102
Figura 33 – a);b) – Moldes de PVC para a produção das placas de concreto reciclado.....	103
Figura 34 – a);b) – Cura das placas de concreto reciclado, compostos das 05 misturas pesquisadas	103
Figura 35 – Assentamento das placas de concreto reciclado, para teste de permeabilidade – CESA/UFRJ.....	104
Figura 36 – Simulador de chuva – CESA/UFRJ	104
Figura 37 – Gráfico do resultado dos ensaios de teor de ar incorporado ao concreto.....	107
Figura 38 – Medida do abatimento do tronco de cone das misturas de concreto.....	108
Figura 39 – Gráfico do resultado dos ensaios à compressão axial	112
Figura 40– Gráfico do resultado dos ensaios à tração por compressão diametral.....	114
Figura 41 – Posicionamento do corpo de provas, para o ensaio de tração na flexão	114
Figura 42 – Gráfico do resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão.....	116
Figura 43 – Gráfico do resultado do ensaio – Módulo de Elasticidade.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais medidas compensatórias	21
Quadro 2 – Normas Técnicas relativas as reciclagem de RCD.....	29
Quadro 3 – Terminologia sobre resíduos de construção	31
Quadro 4 – Legislação Federal	33
Quadro 5 – Algumas diretrizes, critérios e procedimentos na gestão de RCD	34
Quadro 6 – Legislação Estadual – Rio de Janeiro	36
Quadro 7 – Legislação Municipal – Rio de Janeiro	37
Quadro 8 - Resíduos Sólidos quanto à sua origem.....	39
Quadro 9 - Resíduos Sólidos quanto à sua constituição	39
Quadro 10 - Resíduos Sólidos segundo a NBR 10.004/2004.....	40
Quadro 11 - Classificação dos RCD de acordo com a resolução do CONAMA nº 307/2002.	41
Quadro 12 - Fontes e Causas da Ocorrência de Resíduos de Construção	45
Quadro 13 – Classificação de RCD, segundo sua origem.....	48
Quadro 14 - Índices internacionais de geração de resíduos.....	50
Quadro 15 - Variáveis importantes para o processo produtivo do concreto permeável.....	86
Quadro 16 - Variáveis fixas e suas premissas	86
Quadro 17 – Tipos de resíduos e suas formas de produção	89
Quadro 18 – Quadro da sequência da mistura dos componentes do concreto	100
Quadro 19 - Alguns procedimentos para minimizar os efeitos negativos dos agregados reciclados sobre a consistência	109
Quadro 20 – Sugestões para trabalhos futuros	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média de entulhos de obras no Brasil.....	42
Tabela 2 - Componentes de RCD em relação ao tipo de obra em que foi gerado.....	43
Tabela 3 – RCD – Contribuição Individual das Fontes de Origem em (%).....	46
Tabela 4 – Dados sobre a geração de resíduos de construção em algumas cidades brasileiras	51
Tabela 5 - Composição do RCD de diversas cidades brasileira	54
Tabela 6 – Massa específica de agregados de concreto de acordo com a faixa estudada	70
Tabela 7 – Massa unitária de agregados reciclados de composição mista	71
Tabela 8 - Taxas de absorção de agregados reciclados em função do componente e da granulometria.....	73
Tabela 9 – Resumo esquemático das variáveis estudadas no experimento, quantidade de corpos de prova e dos ensaios realizados	87
Tabela 10 - Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável...	96
Tabela 11 – Consumo do cimento, água e agregados utilizados	97
Tabela 12 – Caracterização dos agregados graúdos reciclados	98
Tabela 13 – Composição granulométrica dos agregados graúdos reciclados	99
Tabela 14 – Resultados do ensaio do teor de ar incorporado ao concreto.....	106
Tabela 15 – Medida do abatimento do tronco de cone das misturas de concreto	108
Tabela 16 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial	111
Tabela 17 – Resultado dos ensaios à tração por compressão diametral	113
Tabela 18 – Resultado dos ensaios à tração na flexão.....	115
Tabela 19 – Módulos de elasticidade	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

O senso demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, pontua que em 2010, 84% da população brasileira habitava as Cidades, enquanto em 1970, apenas 30% habitavam nas cidades (IBGE, 2010). A causa fundamental dessa revolução, segundo Granziera (2007), foi o aumento da oferta de emprego e melhores condições de vida, para dar suporte à indústria, viabilizada pela energia elétrica em algumas regiões do país, como o Sudeste, por exemplo. Também a falta de emprego e as condições precárias de sobrevivência no campo aceleraram o processo de emigração para as cidades, fato que ocorre até hoje.

Diversos segmentos da sociedade foram fundamentais para o desenvolvimento e crescimento urbano; contudo, este estudo irá restringir-se ao setor da Indústria da Construção Civil, responsável direta pela construção de habitações, infraestruturas e execução de projetos sócios ambientais que, no conjunto, viabilizam e concretizam as políticas públicas, apesar de ainda serem incipientes, incrementando assim o crescimento do ambiente urbano.

O crescimento da urbanização nas Cidades Brasileiras tem sido acompanhado, de sérios problemas de infraestrutura, como os sistemas de abastecimento de água, de coleta e tratamento de esgoto, transporte, geração de resíduos, drenagem de águas pluviais, dentre outros. Este estudo se propõe pesquisar alguns impactos ambientais causados pela geração de resíduos e pelo aumento das vazões e escoamento das águas pluviais, decorrentes do desenvolvimento do ambiente urbano, planejado e construído inadequadamente.

Várias são as fontes de geração de resíduos na construção civil. Por exemplo, a falta de qualidade dos bens e serviços, no setor da construção, pode dar origem às perdas de materiais, que saem das obras em forma de entulho e contribuem sobremaneira no volume de resíduos gerados. Deste modo, há uma redução da vida útil das estruturas, que necessitarão de manutenção mais frequente, vindo também a propiciar maior consumo de matéria prima e geração de resíduos (Pinto, 2011). Finalmente, os desastres naturais, como terremotos e avalanches, entre outros, e os desastres causados pelo homem, como guerras e bombardeios, ou ainda, as falhas estruturais, culminam com a geração de resíduos de construção e demolição. BANTHIA e CHAN (2000)

Entretanto, não é só a geração de resíduos que preocupa o setor. Atualmente, encontrar bons agregados naturais próximos às áreas urbanas está cada vez mais difícil. Além disso, as distâncias entre as fontes e os locais de novas construções ficam cada vez maiores (Hansen, 1992). Problemas com o gerenciamento dos resíduos gerados, o escasseamento de áreas de disposição e a limpeza urbana, entre outros, são pontos que também devem ser considerados na análise do impacto ambiental causado por um determinado setor. LEITE (2009)

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) tende a crescer, pois é gerado em grandes quantidades e necessita de área com dimensões enormes para sua destinação, que estão escassas em várias cidades brasileiras. A reciclagem de resíduos de construção e demolição é uma das soluções para a redução do impacto causado ao meio ambiente, devido ao crescente consumo de recursos naturais na construção civil e pela geração desordenada de seus resíduos. Segundo John (2001) a reciclagem de RCD pode ser uma oportunidade de transformação de fontes de despesa em faturamento ou de, pelo menos, redução dessas despesas.

Algumas organizações internacionais de pesquisa já possuem, inclusive, normas para utilização deste resíduo na construção, como é o caso do Japão e a Holanda. Países como a Alemanha (um dos precursores do uso de resíduos de demolição), Estados Unidos, Dinamarca, França, Bélgica e Inglaterra já fazem uso deste tipo de resíduo e têm muitos estudos sobre a utilização do material e o seu comportamento. A Holanda, Dinamarca e Bélgica já reciclam mais de 80 % dos seus resíduos de construção e demolição, enquanto em países como a Grécia, Irlanda, Portugal e Espanha esse percentual não chega a 5 %. DORSTHORST e HENDRIKS (2000)

A outra alternativa sustentável visa reduzir os impactos causados pelo desenvolvimento dos ambientes urbanos, devido a crescente impermeabilização do solo nas Cidades, é a pavimentação permeável, produzida com agregados graúdos reciclados da construção Civil. A pavimentação permeável é uma das medidas compensatórias, para retenção de águas pluviais em ambientes urbanos, visando à diminuição das vazões e volumes dessas águas. A aplicação de elementos de concreto permeável, construídos com agregados reciclados de construção e demolição (RCD), amplia e complementa essa medida compensatória, sob a ótica de um ambiente sustentável.

Em meados dos anos 80, o meio técnico percebeu a necessidade da mudança de paradigmas na gestão da drenagem urbana, pois estavam claras as interfaces entre as questões técnicas, econômicas, sociais e principalmente, ambientais. As questões relacionadas à qualidade da água também vieram à tona. É fato, que os efeitos causados pelo escoamento superficial direto devem ser tratados na fonte produtora e não mais transferidos às populações a jusante. O princípio de que o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rapidamente possível para jusante tem sido reconhecido como “errado”. TUCCI (2007)

Novas práticas precisam ser adotadas e novos conceitos assumidos. A sustentabilidade dessas ações está relacionada à implantação de medidas mitigadoras na drenagem urbana. Estas podem ser de caráter estrutural, compostas pelas obras implantadas na bacia ou no rio com finalidade de evitar o transbordamento dos córregos quando da ocorrência de enchentes (Tucci, 2007). Existem ainda, as medidas de controle não estruturais, que são aquelas implantadas na bacia, que não se constituem em obras, e que têm caráter preventivo e gerencial. Podem-se citar como exemplo, os sistemas de alerta contra inundações, a educação ambiental, o planejamento e a gestão do uso do solo integrada com o desempenho da bacia hidrográfica, a gestão dos resíduos sólidos e por fim, os dispositivos que promovem a infiltração e o armazenamento. TUCCI (2007)

As ações públicas para as soluções desses problemas no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, somente para as medidas estruturais. As soluções geralmente encontradas por parte do poder público têm sido a construção e ampliação das redes de drenagem, que tendem a transferir a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia, sem que se avaliem os reais benefícios da obra. Estas ações de visão local atuam sobre o efeito e não sobre as causas do aumento da vazão, que são: o aumento das superfícies impermeáveis; aumento da densidade de drenagem (microdrenagem); redução da rugosidade; mudanças de geometria de cursos d’água naturais. ARAUJO et al (2000).

As medidas não estruturais caracterizam-se por ações preventivas. São aquelas de caráter extensivo, com ações abrangendo toda a bacia, ou de natureza institucionais, administrativas ou financeiras, adotadas individualmente ou em grupo, espontaneamente ou por força de legislação, destinadas a atenuar os deflúvios ou adaptar os ocupantes das áreas potencialmente inundáveis a conviverem com a ocorrência periódica do fenômeno. Cabe ressaltar que as medidas não estruturais devem ser previstas sempre, em conjunto com as

medidas estruturais. É imprescindível comentar ainda, que a implantação de medidas estruturais (obras) é fundamental no contexto das cidades atuais. PINTO (2011)

Durante muito tempo, o escoamento pluvial foi tratado como um problema de saúde pública. Seguindo o modelo higienista do século XIX, o propósito dos sistemas de drenagem era afastar a água parada ou empoçada, considerada passível de contaminação, o mais rápido possível para fora dos centros urbanos. Esse tipo de pensamento deu origem aos sistemas tradicionais de drenagem urbana (Andoh, 2002). Esses sistemas tradicionais tinham sua estrutura, tipicamente, caracterizada por redes de transportes dos escoamentos de águas pluviais, através de galerias e condutos subterrâneos, dimensionados para ter eficiências no escoamento rápido, para fora dos centros urbanos.

Ao longo dos anos, no gerenciamento da drenagem urbana tem-se procurado a redução na frequência e na severidade das inundações a jusante das bacias hidrográficas (Schueler, 1987). Isso, certamente demandou do meio técnico um esforço no sentido de propor medidas mitigadoras e ou compensatórias inovadoras na medida em que estas possuem enfoque diferente daquelas propostas no modelo higienista, pois atuam diretamente na qualidade da água e na quantidade de escoamento direcionado à macrodrenagem. Estas medidas são também conhecidas como BMP's. URBONAS E STAHERE (1993).

As medidas de controle compensatórias têm por finalidade principal promover a infiltração e o armazenamento das águas de chuva. Com relação à infiltração, podem-se apontar benefícios como a recarga das águas do subsolo, a redução do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água ASCE (1986), apud Pinto (2011). As medidas que promovem o armazenamento têm por finalidade principal aumentar os tempos de concentração nas sub-bacias onde são implantadas e, conseqüentemente os tempos de formação e trânsito da onda de cheia, diminuindo os picos dos hidrogramas. Pinto (2011). Seguem no quadro 1, as principais medidas compensatórias.

Quadro 1 – Principais medidas compensatórias

ITEM	PRINCIPAIS MEDIDAS COMPENSATÓRIAS
1	Trincheiras drenantes.
2	Valas de infiltração.
3	Poços de infiltração.
4	Telhados armazenadores.
5	Micro reservatórios ou reservatórios individuais
6	Pavimentos permeáveis.

Fonte: BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD (2005)

A tendência moderna na área de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento, atuando-se na fonte da geração do escoamento superficial. Para tanto, devem ser utilizados dispositivos de acréscimo de infiltração e de aumento do retardo do escoamento. Um tipo de dispositivo utilizado com este fim é o pavimento permeável, que é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico a níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização. ARAÚJO et al. (2000)

A utilização dos pavimentos permeáveis, em um contexto geral, pode proporcionar uma redução dos volumes escoados e do tempo de resposta da bacia para condições similares ou até mesmo, dependendo das características do subsolo, condições melhores que as de pré-desenvolvimento, desde que seja utilizado racionalmente, respeitando seus limites físicos e desde que seja conservado periodicamente (trimestralmente), com uma manutenção preventiva, evitando assim o seu entupimento. ARAÚJO et al. (2000)

Urbonas e Stahre (1993), mencionam que não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando a água não pode infiltrar para dentro do subsolo devido à baixa permeabilidade do solo ou se o nível do lençol freático for alto, ou ainda se houver uma camada impermeável que não permita a infiltração.

Parece lógico, portanto, considerando o impacto originado pela impermeabilização, que haja uma demanda pelo desenvolvimento de tecnologias aplicáveis às necessidades urbanas, que contribuam para a reversão do fenômeno, anulando seus efeitos ou compensando-os. Assim, na linha da atenuação dos impactos, um dispositivo utilizado para promover a infiltração das águas da chuva no solo urbano e, conseqüentemente, atuarem como um retardador dos tempos de pico das cheias é o pavimento permeável.

A gestão do escoamento de águas pluviais em áreas urbanas tem adotado uma abordagem "verde", devido ao surgimento do sistema de drenagem sustentável (SUDS), melhor é coletar, armazenar, tratar, redistribuir e ou reciclar a água. Exemplos de técnicas aplicadas a esse conceito são valas de infiltração, faixas filtrantes, reservatórios e lagoas. A gestão sustentável de águas pluviais tem como elemento central a utilização de águas pluviais como um recurso. Em países como Noruega, Suécia e Dinamarca, a água em sistemas abertos é usada com fins recreativos e no desenvolvimento de ecossistemas e paisagens. SCHOLZ e GRABOWIECKI (2007)

A presente dissertação trata de um dos temas que é objeto de estudo do projeto “*Desenvolvimento de soluções urbanísticas e ambientalmente adequadas de manejo de águas pluviais, visando à redução do impacto sobre o hidrograma de enchente, em bacias experimentais urbanas*”, de sigla MAP, financiado pela FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.

Tal projeto visa promover avanços tecnológicos, através de estudos e pesquisas, na temática do que seria o conceito de “*desenvolvimento urbano de baixo impacto*”, focando na utilização de técnicas compensatórias existentes e aliando-as de forma a prever um manejo de águas pluviais que funcione como solução para os problemas urbanísticos existentes relacionados com o escoamento das águas de chuva.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade estrutural da utilização de agregados graúdos de resíduos reciclados de construção e de demolição, oriundos da construção civil, como substituto parcial ou total do agregado convencional, para a produção de elementos de concreto permeável, para a produção de pavimentação permeável em ambiente urbano, avaliando, em pequena escala, a eficiência de revestimentos com superfícies

permeáveis no controle da geração de escoamento superficial, observando a influência dos agregados graúdos reciclados, quando forem aplicados em revestimentos de calçadas, áreas internas descobertas de edificações e para estacionamento de veículos leves.

Este estudo busca também contribuir para melhoria do conhecimento, sobre dois aspectos; um é sobre as características dos agregados reciclados da construção e da demolição na Construção Civil e o outro é sobre o comportamento dos concretos permeáveis, constituídos desses agregados, na construção de pavimentos permeáveis, tentando integrar essas duas medidas sustentáveis.

Complementarmente o estudo visa ampliar o conhecimento dos conceitos apresentados, reduzindo o uso de recursos não renováveis do meio ambiente e aplicando o recurso da reciclagem dos resíduos de construção e demolição na construção de pavimento permeável.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a questão dos resíduos gerados em ambientes urbanos atinge contornos gravíssimos, pela ínfima presença de soluções adequadas quer para os efluentes líquidos ou resíduos sólidos. Este não deixa de ser um quadro típico dos países em desenvolvimento, mas nem por isso deve permitir qualquer postura condescendente da sociedade (Pinto, 1999). Os dados levantados pelo IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008), pontuam que no Brasil, 99,60% dos Municípios possuem coletas de seus resíduos domiciliares, mas que 50% são depositados a céu aberto (lixões), sem qualquer tratamento ou controle. Os resíduos sólidos, de acordo com a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004) são resíduos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, podendo se apresentar nos estados físicos, sólido e semissólido. BRINGHENTI (2004)

Os resíduos de construção e demolição são parte dos resíduos sólidos e, segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002), são os resíduos 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, calça ou metralha.

A urbanização crescente das Cidades Brasileiras, via de regra, traz consigo graves problemas de infraestrutura como: a gestão de resíduos, o abastecimento de água, saneamento básico, mobilidade urbana, ocupação desordenada, dentre outros. A drenagem de águas pluviais, tratamento e destinação dos resíduos urbanos, não fogem deste panorama, uma vez que a urbanização influencia consideravelmente nestes aspectos.

Trabalhos desenvolvidos por diferentes pesquisadores Campana e Tucci (2001); Roesner et al., (2001); Wright e Heaney (2001) têm demonstrado os efeitos da urbanização sobre o escoamento das águas pluviais. Os principais aspectos destacados são, geralmente, o aumento provocado na magnitude das vazões críticas, acréscimos nos volumes escoados e redução do tempo para ocorrência das vazões máximas. As consequências desses impactos se manifestam sob a forma de inundações urbanas, com a ocorrência de alagamentos frequentes provocados pela água da chuva.

As soluções tradicionais para a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas estão voltadas para a canalização do escoamento. Os exemplos mais comuns consistem na construção de galerias subterrâneas e na retificação e revestimento de rios. Historicamente, a intenção implícita dessas soluções é transportar o mais rápido possível à água pluvial para fora do meio urbano. Entretanto, o processo acelerado de urbanização, observado em todo o mundo, evidenciou as limitações do uso dos sistemas tradicionais. As experiências práticas mostraram que essas soluções não são sustentáveis e atuam apenas no sentido de transferir a cheia para jusante, sem a solução definitiva para o problema de inundações. (SILVA, 2006)

Através da revisão bibliográfica sobre medidas sustentáveis, foi constatado que existem várias pesquisas desenvolvidas em diferentes locais do mundo, buscando avaliar experimentalmente o potencial de diferentes medidas sustentáveis, como o reuso de águas, telhados verdes, reciclagem e pavimentação permeável, dentre outras, sempre com estudos combinados entre si, mas avaliadas individualmente para melhor conhecer seu comportamento e potencial.

Acredita-se que os estudos que procurem investigar a associação de pelo menos duas dessas medidas, podem melhorar a contribuição na aplicação das ações necessárias para a melhoria de vida, em ambientes urbanos. Por este motivo esta pesquisa estuda a viabilidade

estrutural da construção de pavimentos permeáveis, placas de concreto permeável, utilizando agregados graúdos reciclados de construção e demolição, contribuindo também para a definição e aprimoramento de critérios para a sua implantação.

1.4 METODOLOGIA

O estudo foi estruturado em duas partes, a primeira englobando uma revisão sobre o tema a partir da pesquisa bibliográfica, artigos, revistas, diversas referências eletrônicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado. A segunda parte englobando a análise experimental, visando contextualizar e demonstrar os conceitos pesquisados, seus resultados e considerações. Concluída a etapa de revisão bibliográfica, o programa experimental realizado englobou as seguintes partes: coleta e trituração dos agregados reciclados de construção e de demolição, caracterização desses agregados, definição dos traços, moldagem dos corpos de prova, ensaios mecânicos para a avaliação da resistência do concreto, análise dos resultados dos testes de resistências dos corpos de prova e moldagem das placas de concreto permeável, constituídos de agregados reciclados. Futuramente as placas serão assentadas como revestimento de piso, no laboratório do Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA/UFRJ), para testes de permeabilidade das placas, como um dos focos do Projeto MAP da FINEP.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DA APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

A apresentação da pesquisa foi estruturada em 06 capítulos. Tendo uma breve introdução, abordando temas relativos às justificativas e importância da pesquisa, assim como seus objetivos, que constam do primeiro capítulo.

O segundo capítulo apresenta o estado da arte sobre resíduos de construção e demolição no tocante a assuntos mais genéricos como a definição, composição, classificação, geração de resíduos, impactos causados pela geração de resíduo e breve resumo sobre legislações existentes nos três níveis federativos do Brasil.

O terceiro capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre a produção de concreto permeável com agregados reciclados, assim como algumas propriedades dos agregados

reciclados, como; composição granulométrica e absorção de água. Ainda neste capítulo aborda-se algumas propriedades do concreto permeável constituído de agregados reciclados, no seu estado fresco, como a trabalhabilidade e ar incorporado ao concreto e no seu estado endurecido onde foram estudadas as resistências à compressão axial, a tração na compressão diametral, a tração na flexão e o módulo de elasticidade.

O quarto capítulo descreve o estudo experimental. Foram abordados neste capítulo os métodos aplicados para a realização dos ensaios e produção dos concretos permeáveis, para moldagem dos corpos de provas e das placas de concreto permeável; foram definidas as misturas e dosagens dos concretos permeáveis, com os percentuais dos agregados reciclados, constituintes deste concreto; caracterização e seleção dos agregados reciclados empregados no estudo e finalmente foram descritos os procedimentos para a realização dos ensaios nos corpos de provas para determinação das resistências mecânicas dos concretos permeáveis.

O quinto capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos dos ensaios das propriedades do concreto no estado fresco – trabalhabilidade e ar incorporado ao concreto e no estado endurecido – resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, tração na flexão e módulo de elasticidade.

O sexto capítulo engloba as considerações finais, retomando os aspectos mais importantes do estudo, pontuando as vantagens, as desvantagens e sugerindo aplicações futuras, no âmbito da pesquisa.

Por último, apresentam-se as referências bibliográficas, utilizadas na presente pesquisa.

2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.1 HISTÓRICO

Em um estudo realizado por Schulz e Hendricks (1992), foram encontrados registros da utilização de alvenaria britada para produção de concreto desde a época dos romanos. Igualmente nesta época era usada uma mistura de argilas, cinzas vulcânicas, cacos cerâmicos e pasta aglomerante de cal, que servia como uma camada para pavimentos, sobre a qual se efetuava o revestimento final do pavimento (Brito Filho, 1999). Os fenícios, 700 anos antes desta era, misturavam cal e ladrilhos moídos como material de construção com propriedades aglomerantes (Marusin, apud Ortiz, 1998). Devenny e Khalaf (1999) relatam que a primeira utilização de tijolos com cimento Portland para produção de concreto ocorreu em 1860 na Alemanha.

A primeira utilização significativa de resíduos de construção e demolição data da época do fim da Segunda Grande Guerra. Naquele período, milhares de escombros ficaram espalhados pelas cidades. A necessidade de matéria prima para reconstrução dos centros urbanos e a falta de local de destino do vultoso volume de resíduos fizeram com que estes fossem reaproveitados. (LEITE, 2001)

Com o fim da Segunda Guerra, a quantidade de entulho nas cidades alemãs era de aproximadamente 400 a 600 milhões de metros cúbicos. As estações de reciclagem produziram cerca de 11,5 milhões de metros cúbicos de agregado reciclado de alvenaria e 175.000 unidades foram construídas (Segundo Heller, apud por Schulz e Hendricks, 1992). Também as cidades da Inglaterra fizeram uso dos escombros deixados pela guerra, porém em menor escala que a Alemanha. A partir de então vários trabalhos e pesquisas vêm sendo desenvolvidos para aumentar o potencial de reutilização do resíduo de construção. Com base neste fato Levy e Helene, 2000, afirmam que 1946 marca o início do desenvolvimento da reciclagem de resíduos de construção e demolição na construção.

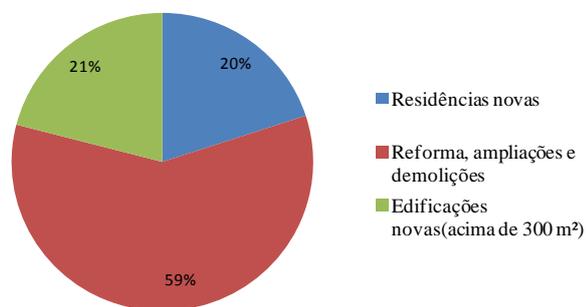
No cenário internacional, existem países como Holanda, Dinamarca, Alemanha e Suíça, entre outros, que reutilizam e reciclam entre 50% e 90% do RCD gerado (Angulo, 2005). Na Alemanha, existem cerca de 3.000 usinas móveis e 1.600 usinas fixas (Mueller, 2007). Segundo Leite (2001), mesmo com o alto índice de reciclagem em relação ao RCD gerado, nos países citados, a autora esclarece que, na média, menos de 20% do agregado

natural acaba sendo substituído pelo agregado reciclado, indicando que grande parte da utilização está focada em regularização e ou nivelamento de terrenos ou aterramento.

Porém, são encontradas diversas experiências promissoras com o uso de novas tecnologias em usinas de reciclagem (ou antigas no setor da Engenharia Mineral) para a melhoria da qualidade do agregado reciclado (Butenbach et al., 1997; Jungmann et al., 1997), com destaque especial ao Japão (Shima et al., 2005). Tais tecnologias realizam, por exemplo, lavagem dos materiais finos, separação da fração orgânica leve e britagem combinada com aquecimento para a remoção da pasta de cimento porosa dos agregados graúdos reciclados.

Estudos realizados por Miranda, L. F. R.; Angulo, S. C.; Careli, E. D constataram que no Brasil, as primeiras pesquisas científicas envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) foram realizadas por Pinto (1986) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos. As primeiras usinas de reciclagem instaladas foram pelas Prefeituras de São Paulo, SP (1991), de Londrina, PR (1993), e de Belo Horizonte, MG (1994). Em 1999, foi confirmada por Pinto (1999) a relevância do tema, apontando que o RCD pode corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais. Quanto à origem dos resíduos nos municípios brasileiros, destacam-se como predominantes as reformas, ampliações e demolições, em conformidade com os dados extraídos de Pinto e Gonzales (2005) e apresentados na figura 1.

Figura 1 – Origens do RCD em alguns Municípios Brasileiros (Miranda, L. F. R.; Angulo, S. C.; Careli, E. D.)



Fonte: SindusCon-SP,2005

Entre 1999 e 2005, ante os benefícios econômicos e ambientais obtidos pela Prefeitura de Belo Horizonte, algumas prefeituras do Estado de São Paulo, como Piracicaba, Santo André e Campinas, também implantaram planos de gerenciamento de RCD.

A partir de 2000, foram desenvolvidas pesquisas sistemáticas relacionadas ao uso do RCD, com o uso de agregados reciclados em argamassas (MIRANDA, 2000, 2005), concretos pré-moldados (Butler, 2003; Souza, 2001), e concretos em geral (Altheman, 2002; Angulo, 2005; Leite, 2001). Já existiam pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo, SP (área de transbordo e triagem ATT Base), Socorro, SP (Irmãos Preto Ltda.), e Fortaleza, CE (Usifort). Foi formada a Câmara Ambiental da Construção com a participação formal do Sindicato da Indústria da Construção de São Paulo (SINDUSCON-SP), CETESB, USP e outros, para discutir, em âmbito nacional, normas técnicas para as atividades de triagem e reciclagem. (MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D, 2008)

Em 2002 foi homologada a resolução CONAMA 307, definindo que grandes geradores públicos e privados são obrigados a desenvolver e a implantar um plano de gestão de RCD, visando a sua reutilização, reciclagem ou outra destinação ambientalmente correta. Com isso, a reciclagem ganhou uma força extra. Iniciaram-se as implantações de planos de gerenciamento de RCD em canteiros, e normas técnicas foram elaboradas por Comitês Técnicos e publicadas pela ABNT em 2004 (quadro 2). (MIRANDA, ÂNGULO e CARELI, 2008)

Quadro 2 – Normas Técnicas relativas as reciclagem de RCD

NORMA	ABRANGÊNCIA
NBR 15113/2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes / Aterros/ Diretrizes para projeto, implementação e operação
NBR 15114/2004	Resíduos sólidos da construção civil / Área de reciclagem / Diretrizes para projeto, implementação e operação
NBR 15115/2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil / Execução de camadas de pavimentação/Procedimentos
NBR 15116/2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil / Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural/Requisitos

Fonte: MIRANDA, ÂNGULO e CARELI (2008)

A geração de resíduos de construção e demolição (RCD) no Brasil continua apresentando um crescimento expressivo no país. De 2011 para 2012 o volume de RCD coletado pelos municípios aumentou 5,3%, que é mais do que o triplo do crescimento

registrado na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Esse aumento dos RCD é motivo de preocupação, uma vez que as quantidades reais são ainda maiores, já que o Panorama contabiliza apenas os resíduos sob coordenação das municipalidades. (ABELPRE, 2012)

Segundo Miranda, Ângulo e Careli, 2008, merecem destaque a necessidade de articulação entre os diversos agentes envolvidos e a ação do poder público municipal para integrá-los, por meio de legislação específica, de ação coercitiva (fiscalização) e socioeducativa, ou seja, por motivos ambientais e econômicos, existe uma necessidade crescente da reciclagem. Além disso, no ambiente científico, empresas e o setor público têm realizado diversas ações para o desenvolvimento dessa atividade. Entretanto, existe pouca informação sistematizada sobre o estado da arte nacional do gerenciamento e reciclagem de RCD.

A gestão de resíduos de construção e demolição precisa de nova estratégia, que venha a otimizar o aproveitamento dos resíduos que descartamos e que geralmente chamam de lixo. Essa estratégia deve ser elaborada de forma organizada e consolidada, conforme determina o Plano de Gestão de Resíduos.

2.2 TERMINOLOGIA

Hansen (1992), apud Leite, 2001, baseado parcialmente na Proposta da Norma Japonesa “Agregado reciclado e concreto de agregado reciclado, que fora preparada pelo Building Contractors Society of Japan (BCSJ), em 1977, apresenta uma terminologia no Terceiro Relatório de Estado da Arte sobre resíduos de construção”. Levy (1997) considera essa terminologia a mais completa sobre o assunto. Seguem no quadro 3, alguns itens dessa terminologia, possam facilitar o entendimento e acompanhamento do assunto.

Quadro 3 – Terminologia sobre resíduos de construção

TERMINOLOGIA	DEFINIÇÃO
Resíduo de Concreto	Entulho de concreto de estruturas demolidas, ou ainda, sobras de concretos pré-misturados endurecidos, rejeitados por centrais de concreto ou aqueles produzidos na própria obra.
Resíduo Cerâmico	Resíduo sólido proveniente da construção, reforma, reparos ou demolição de revestimentos de piso e alvenarias.
Concreto Convencional	Concreto produzido com agregados graúdo e miúdo naturais.
Concreto Original	Concreto proveniente de estruturas de concreto armado, protendidas ou simples o qual poderá ser reciclado para produção de agregados (ou para outros propósitos). Ocasionalmente o concreto original é denominado concreto antigo, ou concreto de demolição.
Concreto de Agregado Reciclado	Concreto produzido com agregado reciclado, sendo os agregados reciclados substituídos total ou parcialmente. Também é conhecido como concreto novo.
Argamassa Original	Mistura de cimento, água e agregado miúdo endurecido do concreto original. Parte da argamassa pode estar aderida a fragmentos das partículas de agregado natural nos agregados reciclados. Também pode ser conhecida como argamassa antiga ou argamassa convencional.
Agregado Original	convencional. Os agregados originais podem ser naturais ou manufaturados.

Fonte: Levy (1997), apud Leite (2001), adaptado pelo Autor (2014)

2.3 PANORAMA SOBRE A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) prevê um controle dos padrões ambientais nos três níveis governamentais, o federal, o estadual e o municipal. Cabe precipuamente ao governo federal elaborar normas gerais, com âmbito em todo território nacional, enquanto aos Estados com âmbito apenas território, mais focada em sua região, por fim, o Município, que complementa e ou cria procedimentos e processos no âmbito de sua competência, tendo em vista a realidade e necessidade de sua área.

As legislações vigentes no Brasil estão crescendo, à medida que se faz necessário a elaboração ou modificação de mecanismos reguladores, pertinentes aos resíduos sólidos,

complementando ou melhorando os atuais, incentivando a implementação de iniciativas econômicas e ambientais, de forma sustentável. Essas leis e regulamentos visam responsabilizar e punir as ações abusivas, que danificam o meio ambiente, de alguma forma. Isto posto, segue abaixo relacionado, alguns instrumentos legais regulamentadores, que os poderes executivos possuem.

2.3.1 Âmbito Federal

A Constituição da República Federativa do Brasil no Capítulo VI do Meio Ambiente, deu diretrizes para a resolução de outras leis no Artigo 225 que diz que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para os presentes e futuras gerações.

A Lei nº. 6.938/1981, que estabelece as bases para a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Em seu Art. 6º esta constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e, no Art. 7º, é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, sendo ambos regulamentados pelo decreto nº. 99.274 de 6 de junho de 1990.

Criou-se o Ministério do Meio Ambiente, em 1992, sendo este o órgão responsável pelo planejamento, coordenação, supervisão, e controle das ações relativas ao meio ambiente e aos recursos hídricos e a formulação e execução da Política Nacional do Meio Ambiente.

Tem-se como braço executivo do Ministério do Meio Ambiente o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que tem, entre outras competências, o controle da fiscalização do meio ambiente na União e nos Estados cujos órgãos recebem delegação do IBAMA para o exercício da fiscalização.

A primeira referência legal que se pode considerar, em relação aos resíduos sólidos, encontra-se no artigo 30 da Constituição de 1988, o qual estabelece como competência do município “organizar e prestar diretamente ou sob regime de concessão ou permissão os serviços públicos de interesse local”.

Atualmente já existe uma maior abundância de dispositivos legais na área dos resíduos sólidos, relacionados no quadro 4, uma vez que após a criação do CONAMA, esse conselho tem atuado de forma efetiva na elaboração de normas, critérios e padrões relativos ao controle e manutenção da qualidade do meio ambiente através de suas resoluções. Merece destaque a primeira Resolução do CONAMA, a Resolução nº. 1 (CONAMA, 1986), que versa sobre avaliação de impactos ambientais (EIA/RIMA). MORAIS (2006)

Quanto aos Resíduos da Construção Civil, a partir de 2002 é que se percebe a produção de políticas, normas e especificações técnicas voltadas para o equacionamento dos problemas causados pela falta de gestão dos mesmos. Atualmente há um conjunto de leis e políticas públicas, além de normas técnicas fundamentais na gestão dos RCC, contribuindo para minimizar os impactos ambientais. MORAIS (2006)

Quadro 4 – Legislação Federal

LEI	COMPETÊNCIA	TÍTULO / OBJETIVO
Constituição de 1988	Federal	Nos seus artigos 23, 196 e 225, incisos X, VI e IX, respectivamente, sem mencionar lixo, apresenta uma preocupação com a saúde do cidadão, mediante políticas sociais e econômicas e com a defesa e preservação do meio ambiente, mantendo-o ecologicamente equilibrado.
Lei nº 12.305, de agosto de 2010 de 1988	Federal	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências
Decreto federal nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 de 1988	Federal	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.
Lei federal nº 11.445, de 05 de janeiro 2007 de 1988	Federal	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
Lei federal nº. 6.938, de 31 de agosto DE 1981.	Federal	Estabelece as bases para a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.

Fonte: Freitas et al (2001), adaptado pelo Autor (2014)

2.3.1.1 Resolução n.º 307 do - CONAMA (2002)

A Resolução n.º. 307 de 5 de julho de 2002 (CONAMA, 2002), em vigor desde janeiro de 2003, é o primeiro instrumento legal e também a principal legislação direcionada ao tratamento das questões específicas dos RCD.

A Resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD, atribuindo responsabilidades para o poder público municipal, e também para os geradores de resíduos no que se refere à sua destinação.

A Resolução n.º. 30 (CONAMA, 2002), leva em consideração as definições da Lei de Crimes Ambientais, de fevereiro de 1998. Essa resolução exige do poder público municipal a elaboração de leis, decretos, portarias e outros instrumentos legais como parte da construção da política pública que discipline a destinação dos RCC.

Dentre outros aspectos, alguns podem ser destacados e estão relacionados no quadro 5.

Quadro 5 – Algumas diretrizes, critérios e procedimentos na gestão de RCD

ITEM	ALGUMAS DIRETRIZES, CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS NA GESTÃO DE RCD
1	A proibição da disposição dos RCD em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de bota- fora, em encostas, em corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.
2	A classificação dos RCD de acordo com o seu potencial para reutilização e reciclagem.
3	A administração municipal deverá realizar o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento.
4	Para disciplinar o fluxo dos RCD, os municípios e o Distrito Federal terão que implementar o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que deverá estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores.
5	Grandes geradores deverão elaborar Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil que terão como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

Fonte: CONAMA (2002)

2.3.1.2 Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat (PBPQ-H)

É relevante observar que ainda não há para a construção civil brasileira exigências legais que estabeleçam limites para a emissão de resíduos sólidos e para a utilização de recursos naturais. Entretanto, começa a formalizar-se a legislação ambiental brasileira que poderá exercer influência nas atividades das empresas construtoras de edifícios. Espera-se que o fortalecimento dos seguintes projetos possa impulsionar o desenvolvimento sustentável do setor da construção de edifícios no Brasil.

O programa federal PBPQ-H foi instituído pela Portaria MPO nº. 134, de 18 de dezembro de 1998. Dentro do PBPQ-H, o Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras (SIQ – Construtoras), prevê em seu escopo, a necessidade da “consideração dos impactos no meio ambiente, dos resíduos sólidos e líquidos produzidos pela obra (entulhos, esgotos, águas servidas), definindo um destino adequado para os mesmos”, como condição para qualificação das construtoras no nível “A”. Sendo assim, as empresas construtoras que desejarem obter a certificação “A” devem apresentar no Plano da Qualidade de Obras os procedimentos exigidos pelo programa.

2.3.1.3 Âmbito Estadual (Rio de Janeiro)

A Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) constitui órgão de primeiro nível hierárquico da administração estadual, e tem como missão formular e coordenar a política estadual de proteção e conservação do meio ambiente e de gerenciamento dos recursos hídricos, visando ao desenvolvimento sustentável do Estado do Rio de Janeiro.

A gestão ambiental pública no Estado do Rio de Janeiro é baseada no sistema estadual de meio ambiente, coordenado por esta Secretaria da qual fazem parte: O INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), (CECA) Comissão Estadual de Controle Ambiental e o (ONEMA) Conselho Estadual do Meio Ambiente. Esses órgãos possuem leis e decretos para gerirem as políticas públicas do meio ambiente, onde segue relacionado algumas mais recentes no quadro 6.

Quadro 6 – Legislação Estadual – Rio de Janeiro

LEI	COMPETÊNCIA	TÍTULO - RESUMO
Lei Estadual nº 4.191, DE 30 de setembro de 2003.	Estadual Rio de Janeiro	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.
Lei Estadual nº 6362/12, de 19 de dezembro de 2012	Estadual Rio de Janeiro	Estabelece normas complementares sobre o gerenciamento estadual para deposição final ambiental adequada de resíduos sólidos em aterros sanitários.
Lei Estadual nº 2.011, de 10 de julho de 1992	Estadual Rio de Janeiro	Dispõe sobre a obrigatoriedade da implementação do programada da redução de resíduos. Inclui a redução na fonte geradora ou através da sua reutilização, diminuindo o volume total e/ou o grau de poluição de resíduos.
Lei Estadual nº 3.007, de 10 de julho de 1998.	Estadual Rio de Janeiro	Dispões sobre o transporte, armazenamento e queima de resíduos tóxicos no Estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Freitas et al (2001), adaptado pelo Autor (2014)

2.3.2 *Âmbito Municipal (Rio de Janeiro)*

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC) é o órgão central do Sistema de Municipal de Gestão Ambiental. Atua no licenciamento ambiental e na fiscalização das atividades potencialmente poluidoras. Possui a missão de defender a melhoria da qualidade dos recursos naturais e seu desenvolvimento sustentável. Dispõe de órgãos que auxiliam na gestão do Meio Ambiente do Município, tais como: Gerências Técnicas Regionais; Programa de Patrulhamento Ambiental; Fundação de Parques e Jardins e a Fundação Jardim Zoológico da Cidade do Rio de Janeiro e dispõem também de leis, decretos e resoluções, pertinentes aos resíduos, que segue no quadro 7.

Quadro 7 – Legislação Municipal – Rio de Janeiro

LEI	COMPETÊNCIA	TÍTULO / OBJETIVO
LEI COMPLEMENTAR Nº 111, de 1º de fevereiro de 2011 (ART. 162, § 1º, 2º e 3º)	Municipal	PLANO DIRETOR DA CIDADE - política de resíduos sólidos do Município do Rio de Janeiro, em estrita consonância com a Política de Meio Ambiente, deverá instituir a gestão integrada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e o controle da poluição, a proteção e a recuperação da qualidade do meio ambiente, a inclusão social e a promoção
LEI MUNICIPAL Nº 4.969, de 3 de dezembro de 2008	Municipal	Dispõe sobre objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes para a gestão integrada de resíduos sólidos no Município do Rio de Janeiro e dá outras providências.
DECRETO MUNICIPAL Nº 34.290 de 15 de agosto de 2011	Municipal	Aprova o Plano Municipal de Saneamento para os Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (PMSB – AE).
DECRETO MUNICIPAL Nº 27.078, de 27 de setembro de 2006	Municipal	Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e dá outras providências.
DECRETO MUNICIPAL Nº 33.971, de 13 de junho de 2011	Municipal	Dispõe sobre a obrigatoriedade da utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos da construção civil – RCC em obras e serviços de engenharia realizados pelo Município do Rio de Janeiro, dá outras providências e revoga os artigos 35 e 36 do Decreto nº 27.078, de 27.09.2006.
RESOLUÇÃO SMAC Nº 519 de 21 de agosto de 2012.	Municipal	Disciplina a apresentação de Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil - PGRICC.

Fonte: Freitas et al, 2001, adaptado pelo Autor (2014)

2.4 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Resíduos da construção civil e demolição (RCD) são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (Resolução CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - nº 307/02).

Tchobanoglous, Theisen e Eliassen, apud Zordan (1997) e Leite (2001), definem o resíduo de construção (RC), como o material proveniente de atividades da construção civil,

devido à construção de edificações, reformas e reparos de residências individuais, edificações comerciais e outras estruturas. Definem também resíduos de demolição (RD) como todo material proveniente da destruição de construções e outras estruturas.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), define resíduos sólidos como:

Resíduos sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, radioativa e outros (perigosos e/ou tóxicos). Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

Para Bidone (2001), o termo “resíduo sólido” que muitas vezes é sinônimo de “lixo”, deriva do latim *reliquum corpus*, que significa sobras de substâncias, acrescido de sólido para diferenciar de resíduos líquidos e gasosos. O significado de “resíduo sólido” e “lixo” conceitualmente são o mesmo; contudo, o termo “resíduo sólido” é mais utilizado no meio acadêmico, enquanto na linguagem popular utiliza-se o termo “lixo”, para as sobras indesejáveis e inúteis oriundas das atividades humanas. TAVARES, (2007), apud SANTOS (2009).

Anteriormente, devido às pequenas concentrações humanas, os resíduos sólidos eram constituídos predominantemente de materiais orgânicos, sendo costume enterrá-los para evitar à proliferação de vetores e doenças, ou usá-los na fertilização do solo. Contudo, atualmente, com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico, verifica-se um aumento da quantidade de resíduos e uma diversidade na sua composição TAVARES (2007), apud SANTOS (2009).

A Agenda 21 considera que os resíduos sólidos, em geral, constituem um dos principais causadores da degradação ambiental, tanto pelo volume gerado como por seu tratamento e sua destinação inadequados. Sua gestão representa um dos principais problemas a serem resolvidos por organismos do governo e prefeituras municipais. (COSTA, 2003)

Segundo Brasil/FUNASA (2004), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua origem e grau de biodegradabilidade, conforme os quadros 8 e 9.

Quadro 8 - Resíduos Sólidos quanto à sua origem

TIPO DO RESÍDUO	ORIGEM DO RESÍDUO
Urbana	Domiciliar, comercial, portos, aeroportos, terminais ferroviários e terminais rodoviários. Limpeza urbana: varrição de logradouros, praias, feiras, eventos, capinação, poda, etc...
Industrial	Nessa categoria se inclui o lodo produzido no tratamento de efluentes, líquidos industriais, bem como resíduos de processos de transformação.
Serviços de Saúde	Resíduos gerados em hospitais, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias, postos de saúde e farmácias.
Radioativa	Resíduos de origem atômica. Esse tipo tem legislação própria e é controlado pelo Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
Agrícola	Resíduo de fabricação de defensivos agrícolas e suas embalagens.
Construção Civil	Resíduos da Construção Civil, tais como: vidros, tijolos, pedras, tintas, solventes e outros.

Fonte: FUNASA (2004)

Quadro 9 - Resíduos Sólidos quanto à sua constituição

SUBSTÂNCIA	CARACTERÍSTICAS
Facilmente degradáveis (FD)	Restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos, excrementos.
Moderadamente degradáveis	Papel, papelão e outros produtos celulósicos
Difícilmente degradáveis	Trapo, couro, pano, madeira, borracha, cabelo, pena de galinha, osso, plástico
Não degradáveis	Metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica

Fonte: FUNASA (2004)

A ABNT normatiza a classificação dos resíduos na NBR 10.004 (2004). A classificação considera os riscos potenciais ao meio ambiente, conforme se observa no quadro 10.

Quadro 10 - Resíduos Sólidos segundo a NBR 10.004/2004

CATEGORIA / CLASSIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO / CARACTERÍSTICA
Classe I (Perigosos)	Apresentam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe IIA (Não inertes)	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém, não se enquadram como resíduo I e IIB.
Classe IIB (Inertes)	Não tem constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água. Como exemplo destes materiais tem-se: rocha, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Fonte: FUNASA (2004)

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são partes integrantes dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), e são gerados em elevadas porcentagens, interferindo na qualidade de vida da população e imputam prejuízos de diversas ordens à administração pública e ao meio ambiente (Tavares, 2007). Segundo Pinto (1999), a massa de RCD gerada nas cidades, é igual ou maior que a massa de resíduos domiciliares.

Os RCD podem ser definidos como todo o rejeito de material utilizado na execução de etapas de obras da construção civil, sendo provenientes de construções novas, reformas, reparos, restaurações, demolições e obras de infraestrutura. MARQUES NETO (2005)

De acordo com Moraes (2006), as terminologias Resíduos da Construção e Demolição (RCD) e Resíduos da Construção Civil (RCC), têm sido utilizadas no meio acadêmico para designar os resíduos sólidos gerados nas atividades de construção e demolição, também conhecidos popularmente como “entulhos”.

Entulho ou sobras de materiais de construção civil são os “subprodutos gerados e removidos de construções, reformas e locais de demolição ou canteiros de edificações e de obras de arte de Engenharia Civil”. HONG KONG POLYTECHNIC (1993) apud OLIVEIRA (2002)

A Resolução 307 de 05 de julho de 2002 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente classifica os resíduos da construção civil conforme apresentado no quadro 11.

Quadro 11 - Classificação dos RCD de acordo com a resolução do CONAMA n° 307/2002

CLASSE	ORIGEM	TIPO DE RESÍDUO
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis com agregados	a. De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagens. 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) produzidos no canteiro de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações	Plástico, papel/ papelão, metais, vidros e outros;
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações	Gesso e produtos oriundos deste
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros

Fonte: CONAMA (2002)

A composição dos RCD, ou entulho, dentre outros aspectos varia em função de características regionais, como tipo de construções existentes, matéria-prima disponível, práticas construtivas e forma de manuseio do resíduo. Em sua maioria, esses resíduos são compostos por restos de argamassa, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais, etc. COSTA (2003)

Schenini, Bagnati e Cardoso (2004) dizem que a constituição dos rejeitos da construção civil é heterogênea e dependente das características de cada construção e do grau de desenvolvimento da indústria em uma determinada região. Geralmente, é composto por uma mistura de brita, areia, concreto, argamassa, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, restos de madeira, caixas de papelão, ferro e plástico. Estes resíduos são classificados, segundo a NBR 10.004 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, como resíduos sólidos inertes – resíduos de Classe II B.

Para Tavares (2007), os resíduos provenientes de atividades construtivas apresentam-se sob forma sólida, são gerados em grandes volumes e apresentam características físicas variáveis dependendo do processo em que ocorreu sua geração.

De acordo com Zordan (2000), o resíduo da construção e demolição talvez seja o mais heterogêneo de todos os resíduos industriais. Com essa heterogeneidade na sua composição, os RCD apresentam diferentes características em cada local onde é gerado, justificando assim a variabilidade na sua composição.

Segundo Monteiro et al. (2001) apud Silva Filho (2005), os RCD são uma mistura de materiais inertes, tais como: concreto, argamassa, madeira, plástico, papelão, vidros, metais, cerâmica e terra. Os autores apresentam a composição média do entulho de obra no Brasil, na tabela 1, não considerando o solo extraído durante as escavações.

Tabela 1 - Composição média de entulhos de obras no Brasil

COMPONENTES	PORCENTAGEM (%)
Argamassa	63
Concreto e Blocos	29
Outros	7
Orgânicos	1
Total	100

Fonte: Monteiro et al. (2001) apud Silva Filho (2005)

Os diversos tipos de obras e atividades ligadas ao setor da construção civil tais como reformas, manutenção e demolição, têm influência direta na composição dos RCD, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Componentes de RCD em relação ao tipo de obra em que foi gerado

COMPONENTES PRESENTES NO RCD	TRABALHOS RODOVIÁRIOS (%)	ESCAVAÇÕES (%)	SOBRAS DE DEMOLIÇÕES (%)	OBRAS DIVERSAS (%)	SOBRAS DE LIMPEZA (%)
Concreto	48,00	6,10	54,30	17,50	18,40
Tijolo	–	0,30	6,30	12,00	5,00
Areia	4,60	9,60	1,40	3,30	1,70
Solo, poeira, lama	16,80	48,90	11,90	16,10	30,50
Rocha	7,00	32,50	11,40	23,10	23,90
Asfalto	23,50	-	1,60	-	0,10
Metais	–	0,50	3,40	6,10	4,40
Madeira	0,10	1,10	7,20	19,30	10,50
Papel/Material Orgânico	–	1,00	1,60	2,70	3,50
Outros	–	-	0,90	0,90	2,00

Fonte: Levy (1999), apud Leite (2001)

É importante ressaltar que a grande variabilidade de técnicas e metodologias de produções existentes e a presença ou não do controle de qualidade interferem na composição dos RCD. TAVARES (2007)

Para Carneiro et al. (2001), a composição dos RCD sofre influência do processo, do período e do local da coleta da amostragem; ainda interferindo nas características, composição e qualidade dos RCD, aspectos como: o nível de desenvolvimento da indústria da construção civil; a qualidade e treinamento da mão de obra disponível; as técnicas de construção e demolição empregadas; a adoção de programas de reciclagem com reutilização dos materiais nos canteiros; os tipos de materiais predominantes disponíveis da região; o desenvolvimento de obras de arte na região (metrô, estação de tratamento de esgoto, restauração de centros históricos, entre outras); e o desenvolvimento econômico e tecnológico da região; demanda por novas construções.

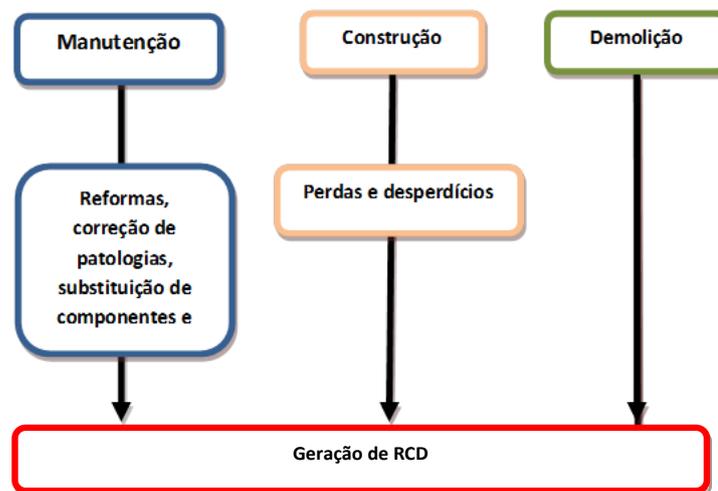
Neste trabalho para se referir aos resíduos provenientes da construção e demolição, na Construção Civil, utilizaram-se a sigla RCD, e a definição de resíduos da Resolução n.º 307 do CONAMA, 2002, por ser mais abrangente e atual.

2.5 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO (RCD)

A geração de RCD é anterior ao início de qualquer obra, se observamos que a produção de insumos para a construção civil, além de consumir recursos naturais também produz resíduos. JOHN (2000)

Os resíduos de construção e demolição (RCD) se originam de três formas, a saber: reformas e manutenções, novas construções e demolições, conforme representado na figura 2.

Figura 2 – Três formas de geração de resíduos de construção e demolição



Fonte: Inojosa (2010)

Nas reformas e manutenção, os resíduos são gerados para a conservação e melhorias das edificações, com métodos e processos que geram uma quantidade significativa de resíduos.

Nas reformas os RCD são gerados muitas vezes em grande quantidade pela falta de conhecimento científico e cultura de reutilização e reciclagem. As quebras de paredes e outros elementos da edificação, inclusive em demolições de menor porte, são realizados em processos simples, e por isto geram altos volumes de entulho. ZORDAN (1997; PINTO (1999)

Nas novas construções no Brasil, os resíduos são originados das perdas físicas oriundas do processo construtivo, a saber: na execução das fundações, na alvenaria, nos revestimentos e nos acabamentos. Não se pode deixar de citar a construção das instalações elétricas, hidráulicas, esgoto, telefonia, etc., onde se faz necessário a quebra de algumas

alvenarias, para a passagem das tubulações destas instalações, portanto, resíduo gerado devido a métodos e técnicas construtivas.

Pucci (2006), estima à perda de 150kg de material por metro quadrado construído. Na construção civil brasileira, mão de obra e materiais baratos não estimula o uso de tecnologias mais eficientes, que gerariam menos desperdícios. De acordo com Pinto (1999), a intensidade de perda de materiais está entre 20 e 30% da massa total, dependendo do patamar tecnológico do construtor.

A construção artesanal, predominante na construção civil brasileira, contribui para a existência de perdas consideráveis de materiais e mão de obra. Impera o princípio da baixa produtividade e mau gerenciamento Pinto (1986); Zordan (1997). O quadro 12 mostra as principais fontes e causas da ocorrência de resíduos de construção.

Quadro 12 - Fontes e Causas da Ocorrência de Resíduos de Construção

FONTE	CAUSA
Projeto	Erro nos contratos Contratos incompletos Modificações de projeto
Intervenção	Ordens erradas, ausência ou excesso de ordens Erros no fornecimento
Manipulação de materiais Operação	Danos durante o transporte Estoque inapropriado Erros do operário Mau funcionamento de equipamentos Ambiente impróprio Dano causado por trabalhos anteriores e posteriores Uso de materiais incorretos em substituição Sobras de cortes Sobras de dosagens Resíduos do processo de aplicação
Outros	Vandalismo e roubo Falta de controle de materiais e de gerenciamento de resíduos

Fonte: Gilva, Bernold (1994); Ângulo (2000)

Nas demolições, os resíduos são caracterizados por concretos e tijolos, com menores quantidades de aço, plástico e madeira. WOOLLEY (1994)

Os resíduos gerados das obras de demolição não dependem diretamente do processo construtivo ou qualidade da obra, pois o mesmo é inerente ao próprio processo de demolição. MORAIS (2006)

A ocorrência de desastres naturais e artificiais em cidades, respectivamente, terremotos e guerras, contribuem no volume de resíduos gerados no processo de demolição. Nesses casos, o resíduo gerado poderá se encontrar contaminado por substâncias tóxicas. PONTES (2007)

Nos países mais desenvolvidos, a quantidade gerada de resíduos de demolições é maior que a de construção, visto que obras de reforma, renovação e infraestrutura são mais comuns (Pontes, 2007). A tabela 3 a seguir, apresenta dados da participação das atividades de construção e de demolição na geração de resíduos em alguns países.

Tabela 3 – RCD – Contribuição Individual das Fontes de Origem em (%)

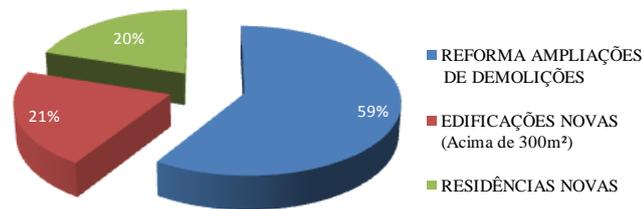
PAÍS	RCD (ton/ano)	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO (ton/ano)	RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO (ton/ano)	% DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NO RCD	% DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO NO RCD	ANO
Alemanha ¹	32,6 milhões	10 milhões	22,6 milhões	31	69	1994
Estados Unidos ²	31,5 milhões	10,5 milhões	21,0 milhões	33	66	1994/1997
Brasil ³	70 milhões	35 milhões	35 milhões	30-50	50-70	1999
Japão ¹	99 milhões	52 milhões	47 milhões	52	48	1993
Europa Ocidental ⁴	215 milhões	40 milhões	175 milhões	19	81	Previsão 2000

Fonte: ÂNGULO (2000). ¹ LAURITZEN (1994); ² PENG et al. (1997); ³ PINTO (1999), ZORDAN (1997), JOHN (2000); ⁴ PERA (1996), HENDRICKS (1993) apud QUEBAUD, BUYLE-BODIN (1996)

A investigação da origem dos RCD é importante para qualificação e a quantificação dos volumes gerados. Por isto, algumas metodologias vêm sendo desenvolvidas e aplicadas nas investigações sobre os RCD. MORAIS (2006)

O manual elaborado sob a coordenação de Tarcísio Paula Pinto: Manejo e gestão de resíduos da Construção Civil (CEF, 2005), indica uma média de RCD gerados em 11 municípios brasileiros, conforme demonstrado na Figura 3, com valores em % definindo sua origem.

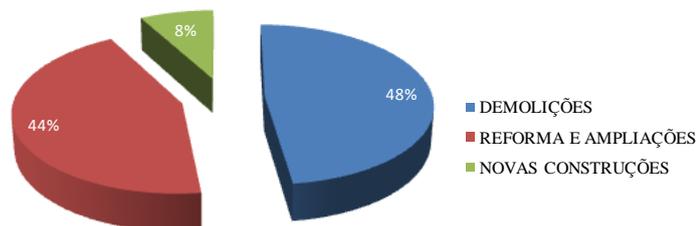
Figura 3 - Mediana da geração dos RCD em algumas cidades no Brasil (% em massa)



Fonte: CEF (2005)

Nos Estados Unidos, em 1996, foram gerados 136 milhões de toneladas de RCD, sendo 48% gerados de demolições, 44% provenientes de reformas e apenas 8% de novas construções, como pode ser observado na figura 4. EPA (1999) apud CARNEIRO (2005)

Figura 4 - Mediana da geração dos RCD nos EUA (% em massa)



Fonte: EPA (1998), apud CARNEIRO (2005)

O desenvolvimento de técnicas construtivas mais sustentáveis interfere diretamente na quantidade de resíduos gerados por novas edificações. Países desenvolvidos produzem menos resíduos gerados em novas construções, porém ainda existe o entulho gerado por demolições, reformas ou reconstruções, que também é motivo de preocupação e podem ser combatidos apenas pelos métodos de reciclagem. MORAIS (2006)

Kartam et al. (2004), Carneiro (2005), classificam os RCD de acordo com sua origem, relacionado, no quadro 13 relacionado.

Quadro 13 – Classificação de RCD, segundo sua origem

ITEM	CLASSIFICAÇÃO DE RCD SEGUNDO SUA ORIGEM
1	Material de escavação, podendo ser ainda classificados entre contaminados e não contaminados.
2	Restos de materiais oriundos da construção de estradas.
3	Restos de materiais provenientes de obras de construção de edifícios, os quais incluem todos os materiais relativos às atividades de construção, renovação ou demolição de edifícios (KARTAM et al., 2004; CARNEIRO, 2005).

Fonte: Kartan et al (2004) e Carneiro (2005)

2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

De acordo com a Resolução nº 1 (CONAMA, 1986), o termo impacto ambiental pode ser definido como toda a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: (I) a saúde, (II) a segurança e o bem-estar da população; (III) as atividades sociais e econômicas; (IV) a biota; (V) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; (VI) e a qualidade dos recursos ambientais.

Na grande maioria dos centros urbanos brasileiros os impactos ambientais já representam um grave problema, o que vem se agravando cada vez mais com o crescente adensamento das cidades e a falta de espaço para a destinação final dos resíduos sólidos. CARNEIRO et al. (2004), apud SANTOS (2009)

As atividades econômicas, a indústria e o sistema de transportes não são os únicos vetores responsáveis pelas mudanças climáticas, pelo aumento no buraco da camada de ozônio, pelas chuvas ácidas, pelos desmatamentos e pela perda da biodiversidade. O ambiente construído é também grande responsável por estes problemas. Além de consumir recursos na sua fase de construção, os edifícios, durante seu uso, produzem impactos sobre o ambiente circundante, pois são fontes importantes de consumo de energia e água. ALAVEDRA et al. (1997)

A indústria da construção civil é causadora de vários impactos ambientais. Além de ser uma grande consumidora de recursos naturais, a mesma produz poluição sonora e poluição do ar. JOHN (2000); MORAIS (2006)

A indústria da construção é uma das mais antigas em todo o mundo e se utiliza de técnicas e materiais que não mudaram muito ao longo do tempo. O concreto, por exemplo, é produzido hoje com a mesma receita básica de anos atrás: água, cimento e agregado, podendo variar apenas com o uso de um ou outro aditivo, ou adição, que podem levar a alguns efeitos diferenciados. A preocupação crescente com o meio ambiente têm levado todas os setores da indústria a buscar e repensar os métodos e as técnicas empregas.

Para se ter ideia da dimensão dos problemas causados ao meio ambiente com as atividades da construção foram levantados alguns dados bastante interessantes. O setor é responsável, por exemplo, pelo consumo de 20 a 50 % dos recursos naturais extraídos Alavedra et al. (1997), Sjostrom (1997), apud Leite (2001). O consumo de agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas/habitante ano. Além dos recursos extraídos, deve-se mencionar a geração de poluição, como emissão de poeira e gás carbônico, principalmente durante a produção do cimento. JOHN (1998), PENTALLA (1997)

Segundo Goldstein (1995), anualmente é produzido no mundo 1tonelada/habitante de concreto, mas apesar deste ser um produto que consome menor quantidade de energia quando comparado ao aço, ou ao plástico, sua produção se utiliza de cimento que é atualmente considerado como um dos processos de manufatura com maior consumo de energia. Ainda segundo este autor, é necessário entre 11 e 15 % de cimento numa mistura típica de concreto. De acordo com Sjostrom (2000), o setor da construção na Comunidade Europeia consome aproximadamente 40% do total de energia e é responsável por 30% da emissão de CO₂ na atmosfera.

De acordo John et al (1996), 4,5% do consumo total de energia é gasto na construção civil e 84% deste, na fase de produção de materiais. John (2000) estima que o setor de construção civil brasileiro consome cerca de 210 milhões de toneladas/ano de agregados naturais somente para produção de concretos e argamassas.

Segundo Leite (2001), os valores de geração de resíduos apontados na bibliografia são muito assustadores e por si só já constituem motivo suficiente para que sejam tomadas medidas serias e rápidas para conter o avanço do problema, desta forma a autora seleciona

alguns índices internacionais encontrados na bibliografia, que seguem abaixo relacionados no quadro 14.

Quadro 14 - Índices internacionais de geração de resíduos

ITEM	ÍNDICES INTERNACIONAIS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS
1	Acredita-se que mundialmente são gerados entre 2 e 3 bilhões de toneladas de resíduos de construção e demolição por ano (TORRING, 1998; LAURITZEN, 1998)
2	A Comunidade Europeia gera anualmente um total de 480 milhões de toneladas de resíduos inertes, deste total, 180 milhões correspondem a resíduos de construção e demolição com potencial de reaproveitamento. Isso equivale a cerca de 0,5 toneladas/habitante.ano somente de resíduos de construção e demolição. Atualmente, cerca de 50 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição estão sendo reaproveitados, valor que corresponde a cerca de 28 % do total gerado, o restante têm sido incinerado e depositado em aterros (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000)
3	Nos Estados Unidos são gerados de 20 a 30 kg/m ² construído de resíduos, nos mais variados tipos de atividades existentes ligadas à construção. Este país produz cerca de 31,5 milhões de toneladas de resíduos de construção por ano, o que equivale a quase 25 % de todo resíduo sólido produzido (PENG et al., 1997).
4	Na Alemanha, em 1991, os valores chegaram a 32,6 milhões de toneladas (BOSSINK e BROUWERS, 1996). Somente na parte leste da Alemanha, numa região com cerca de 2,5 milhões de habitantes, são gerados cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos de construção (MÜELLER e WINKLER, 1998).
5	Na Holanda foram gerados quase 15 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição em 1996, isso equivale a aproximadamente 1 tonelada/habitante.ano (PIETERSEN et al., 1998; LOO, 1998; VAN DER WEGEN e HAVERKORT, 1998; HENDRIKS et al., 1998).
6	Na França são gerados cerca de 25 milhões de toneladas de material de demolição por ano (QUEBAUD et al., 1997) o que equivale a 50 % de todo resíduo sólido gerado anualmente no país (QUEBAUD e BUYLE-BODIN, 1999).
7	No Japão foram descartados 86 milhões de toneladas de resíduos de construção, em 1992 (UCHIKAWA e HANEHARA, citados por BAZUCO, 1999). Somente os resíduos de concreto cresceram de 25 milhões de toneladas, em 1992, para 71 milhões de toneladas, em 1995. Espera-se para o ano 2001 um volume de 110 milhões de toneladas de resíduos de concreto (BANTHIA E CHAN, 2000). A cidade de Hong Kong gerava, em 1991, 22000 toneladas diárias de resíduos de construção (POON, 1997).
8	Na Finlândia são gerados mais de 0,11 toneladas/habitante.ano de resíduos de construção e demolição e todo esse resíduo é simplesmente descartado em aterros (PENTALLA, 1997).
9	Na Suécia são gerados 1,5 milhões de toneladas/ano de resíduos de demolição, constituídos basicamente de concreto e blocos cerâmicos (KARLSSON, 1998).
10	A Itália gerou, em 1997, 15 milhões de toneladas/ano de resíduos de demolição (D'AMICO e GARGANO, 1998).
11	Em 1997, na Dinamarca foram gerados cerca de 2,6 milhões de toneladas/ano de resíduos de construção. Estima-se que para o ano 2000 esse valor tenha subido para 2,8 milhões de toneladas, de acordo com o DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, citado por GLAVIND e HAUGAARD, 1998.

Fonte: Leite (2001)

No Brasil, os índices não são menores e menos preocupantes. De acordo com Pinto (1996), os resíduos de construção e demolição correspondem a 2/3 em massa do total de resíduos coletados em cidades de médio e grande porte do país. Os dados encontrados na bibliografia existente sobre a geração de resíduos de construção e demolição são muitos antigos. Em 2012 a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), publicou uma pesquisa intitulada “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil”, onde relaciona todas as coletas de RSU das cinco regiões geográficas do Brasil e em especial a coleta de resíduos de construção e de demolição, compiladas e relacionadas na tabela 4.

Tabela 4 – Dados sobre a coleta de RCD nas regiões geográficas brasileiras

REGIÃO	ANO 2011		ANO 2012		
	RCD Coletado (ton/dia)	Índice (kg/hab./dia)	População Urbana (hab.)	RCD Coletado (ton/dia)	Índice (kg/hab./dia)
NORTE	3.903	0,330	12.010.233	4.095	0,341
NORDESTE	19.643	0,502	39.477.754	20.932	0,530
CENTRO OESTE	12.231	0,966	12.829.644	12.829	1,000
SUDESTE	55.817	0,742	75.812.738	59.100	0,780
SUL	14.955	0,638	23.583.048	15.292	0,648
BRASIL	106.549	0,656	163.713.417	112.248	0,686

Fontes: ABRELPE (2012) e IBGE (2010)

Baseado na pesquisa da ABRELPE (2012) pode-se concluir que a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) continua apresentando um crescimento expressivo no país. De 2011 para 2012 o volume de RCD coletado pelos municípios aumentou 5,3%, que é mais do que o triplo do crescimento registrado na geração de RSU. Esse aumento dos RCD é motivo de preocupação, uma vez que as quantidades reais são ainda maiores, já que a pesquisa contabiliza apenas os resíduos sob coordenação das municipalidades.

2.7 COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO

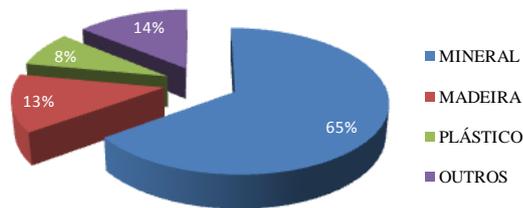
Os resíduos da construção civil são compostos por materiais de diferentes origens e naturezas, tais como argamassas à base de cimento e cal, resíduos de cerâmica vermelha (tijolos e telhas), cerâmica branca, concreto armado ou não, solo, rocha, metal, madeira, papel, plásticos, materiais betuminosos, vidro, gesso, tintas, restos de embalagens, cimento amianto, entre outros. Tais materiais causam impactos distintos no meio ambiente e, apesar de ser relativamente baixa presença de resíduos perigosos (produtos ácidos, inflamáveis e outros), este aspecto não deve ser desprezado no momento da definição do tratamento e da disposição final dos resíduos. PINTO (1999); DEGANI (2003)

Pode-se observar com base em estudos, que a composição dos RCD gerados nos canteiros de obras é diferente para cada país. Pinto (1999) atribuiu esta diferença à diversidade de tecnologias construtivas utilizadas. Como exemplo, podem-se citar as indústrias de construção americana e japonesa, que utilizam a madeira de maneira muito significativa no processo construtivo, diferentemente das indústrias Brasileira e Europeia. ZORDAN (1997); PINTO (1999); ANGULO (2000); DEGANI (2003)

A composição dos resíduos de construção e demolição também é variável, em função da região geográfica, da época do ano, do tipo de obra, dentre outros fatores. Quando oriundos de obras de construção, a composição é dependente do estágio da obra, uma vez que no estágio de concretagem da estrutura há uma maior incidência de fragmentos de concreto, aço, formas de madeira, dentre outros, enquanto que no estágio de acabamento, há predominância de restos de argamassa, tijolos, telhas, cerâmicas, dentre outros Poon et al. (2001). Caso a obra seja uma reforma, haverá uma incidência maior de materiais cerâmicos, madeira, rochas naturais, vidro, metais e plásticos. ESIN e COSGUN (2007)

Estima-se que no Brasil, em média 65% do material descartado é de origem mineral, 13% madeira, 8% plásticos e 14% outros materiais, demonstrado na figura 5. As construtoras são responsáveis pela geração de 20 a 25% desse entulho, sendo que o restante provém de reformas e de obras de autoconstrução. TECHNE (2001), apud VIEIRA (2003) e CABRAL (2007)

Figura 5 - Composição média de resíduos da Construção Civil no Brasil



Fonte: TECHNE (2001)

Para as obras de demolição, as características dos seus resíduos também variam de acordo com o tipo de estrutura a ser demolida e da técnica utilizada. Entretanto, de uma maneira geral, os resíduos de demolição consistem de um alto percentual de material inerte, como tijolos, areia e concreto. Metais, madeira, papéis, vidro, plásticos e outros materiais também aparecem, mas em menor percentagem. POON et al. (2001)

De uma maneira geral, a grande maioria dos resíduos de construção e demolição tem grande potencial para ser reciclado. Na Europa, Henrichsen (2000) afirma que mais de 90% dos RCD podem ser reciclados embora, em média, em 1995, estima-se que somente 30% desses resíduos foram reciclados. A tabela 5 mostra a composição do RCD de algumas cidades brasileiras localizadas em regiões distintas do país.

Através dos dados da tabela 5, pode-se observar também que argamassa, concreto e material cerâmico correspondem juntos, em todas as cidades apresentadas, a mais de 60% do total do resíduo gerado. Na Europa, esses componentes ainda correspondem a algo em torno de 50% do total dos RCD lá gerados Henrichsen (2000). Na Malásia, restos de concreto, agregados, restos de blocos de concreto e cerâmico correspondem a 67% dos materiais desperdiçados Begun et al. (2006) enquanto que no Kuwait, restos de concreto e de blocos cerâmicos correspondem a 60% dos RCD. KARTAM et al. (2004)

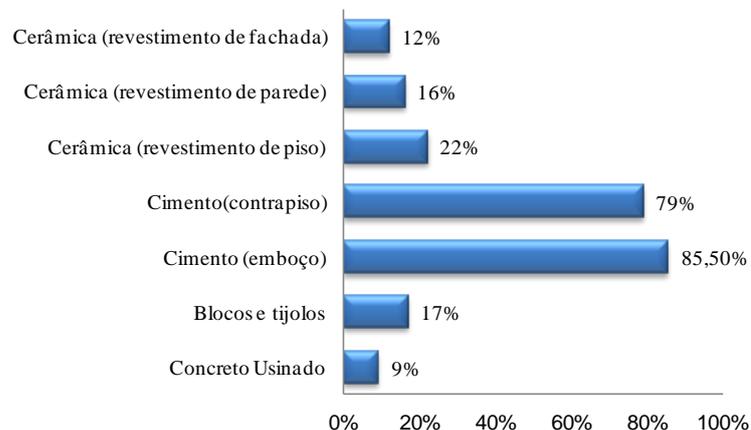
Tabela 5 - Composição do RCD de diversas cidades brasileira

MATERIAIS CONSTITUINTES	SÃO PAULO/SP (a) - %	SÃO PAULO/SP (b) - %	PORTO ALEGRE/RS (c) - %	RIBEIRÃO PRETO/SP (d) - %	SALVADOR/BA (e) - %	CAMPINA GRANDE/PB (f) - %	MACEIO/AL (g) - %
Argamassa	63,67	25,20	44,20	37,40	53,00	28,00	27,82
Concreto	4,38	8,20	18,30	21,10		10,00	18,65
Material cerâmico	29,09	29,60	35,60	20,80	9,00	34,00	48,15
Cerâmica polida	0,39	0,00	0,10	2,50	5,00	1,00	3,06
Rochas, solos	0,13	32,00	1,80	17,70	27,00	9,00	0,00
Outros	2,34	5,00	0,00	0,50	6,00	18,00	2,32

Fonte: (a) Pinto, 1986. (b) Brito Filho, 1999. (c) Lovato, 2007. (d) Zordan, 1997. (e) Quadros e Oliveira, 2001 – todas apud Leite, 2001

Souza et al. (1999), apud Cabral (2007), relatam que foi realizado no Brasil, uma pesquisa que ratifica os resultados citados anteriormente, realizada pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), em convênio com dez universidades brasileiras, demonstrado na figura 6, onde se determinou as perdas de alguns materiais de construção, em quase cem canteiros de obras. Os resultados apontam que, em média, 9% do concreto usinado, 17% dos blocos e tijolos, 85,5% do cimento no serviço de emboço, 79% do cimento no serviço de contrapeso, 22% das placas cerâmicas aplicadas no piso, 16% das placas cerâmicas aplicadas na parede e 12% das placas cerâmicas aplicadas na fachada são desperdiçados Souza et al. (1999), ou seja, parte dessas perdas torna-se entulho da obra.

Figura 6 – Perda média de material de construção Civil no Brasil



Fonte: Souza et. al, 1999

Os dados citados anteriormente representam a média nacional de desperdício de materiais, que como resultado também apresentam o concreto, a argamassa e os materiais cerâmicos como os principais constituintes do resíduo gerado. Esses dados confirmam a cultura construtiva brasileira, onde as maiores perdas ocorrem nas fases de concretagem, alvenaria, emboço/reboco e revestimento, nas quais os grandes insumos utilizados são estes que aparecem em grandes quantidades nos resíduos de construção e demolição. CABRAL (2007)

As pesquisas indicam que estes materiais são os mais desperdiçados nos canteiros de obras internacionais, conforme Van Acker (1996), apud Buttler (2003) e Cabral (2007), que afirma que a parte mineral dos resíduos sólidos de material de construção gerados na União Europeia são compostos aproximadamente por 41% de concreto, 40% de alvenaria, 12% de asfalto e 7% de cerâmica e azulejos.

Por fim, conforme o que foi exposto acima, os resíduos de construção possuem uma composição que depende muito da fonte que o originou e do momento em que foi colhida a amostra, além disso, uma construção é composta por vários componentes, nitidamente comprovados quando ocorre a sua demolição, evidenciado pela composição do resíduo gerado.

2.8 BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO

O beneficiamento dos resíduos de construção e demolição envolve desde a sua coleta e transporte, passando por separação, moagem e peneiramento, até a sua estocagem para posterior utilização. Alguns estudos como Hansen (1992); Quebaud (1996); Pietersen et al (1998) concluíram que o beneficiamento do resíduo de construção e demolição não difere muito do tratamento dado à produção de agregados naturais, e muitos dos equipamentos utilizados para estes se adequam perfeitamente aos primeiros. (LEITE, 2001)

2.8.1 Moagem

A moagem é aplicada quando se objetiva produtos com tamanhos de partículas muito reduzidos. Neste caso, a energia por partícula é pequena, embora seja elevada a energia

aplicada por unidade de massa. A redução de tamanho na moagem ocorre pela combinação dos efeitos de compressão, impacto e abrasão realizada em vasos cilíndricos (moinhos) compostos com corpos moedores. CORDEIRO (2006)

Segundo Cordeiro (2006), a escolha do tipo de moinho deve ser realizada em função das características do material a ser processado. Muitos equipamentos encontram-se disponíveis para moagens finas e ultrafinas, como moinho de bolas, de barras, de discos, de martelos, atrito, vibratório, planetário e autógeno. Outro fator que influencia a escolha do sistema é a capacidade requerida dos equipamentos adotados, em relação à quantidade de material a ser beneficiada e ao tipo de material a ser obtido.

2.8.2 Equipamentos utilizados para beneficiamento do resíduo

A escolha do sistema para o beneficiamento dos resíduos de construção e de demolição depende da capacidade requerida dos equipamentos utilizados, versos a quantidade de material que será beneficiado e ao tipo de material a ser obtido.

Geralmente, os equipamentos de reciclagem se compõem de: silo de recepção tipo calha vibratória; triturador; transportadores de correia; extrator de metais ferrosos; conjunto peneirador, entre outros. BRITO FILHO e JEFERSON (1999)

Os tipos de britadores utilizados merecem atenção especial, pois estes equipamentos são determinantes da maior parte das propriedades dos agregados obtidos. Além disso, merece destaque o desempenho do britador do ponto de vista econômico Leite (2001). Seguem relacionado abaixo alguns dos tipos de britadores, mais utilizados.

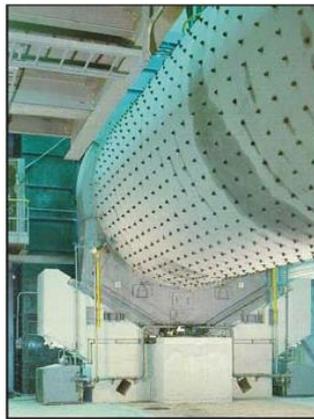
2.8.2.1 Moinhos rotativos

Os moinhos rotativos (figura 7) são equipamentos de moagem mais empregados, compostos por uma carcaça que gira sobre mancais e roletes e uma carga solta de bolas ou barras em seu interior. Neste equipamento, os corpos moedores são normalmente elevados pelo movimento da carcaça até certo ponto de onde caem, seguindo uma trajetória parabólica, sobre os outros que estão na parte inferior e sobre o material que ocupa seus interstícios. Figueira e Almeida, (2002), apud Cordeiro (2006). Define-se velocidade crítica do moinho

rotativo como aquela na qual um corpo moedor permanece junto à carcaça pela ação da força centrífuga durante uma rotação do cilindro. BERALDO (1997), apud CORDEIRO (2006)

O desempenho dos moinhos rotativos é limitado, pois as condições de esforços não são adequadas para a moagem de partículas muito finas. Segundo Wellenkamp (1999), mesmo com o emprego de corpos moedores de pequeno diâmetro, fato que aumenta a taxa de esforço, não é produzida energia suficiente para provocar altas taxas de quebra de partículas finas (diâmetros menores que 100 μm) e ultrafinas diâmetros menor que 10 μm) neste tipo de moinho. CORDEIRO (2006)

Figura 7 - Moinho rotativo de bolas de fábrica de cimento Portland

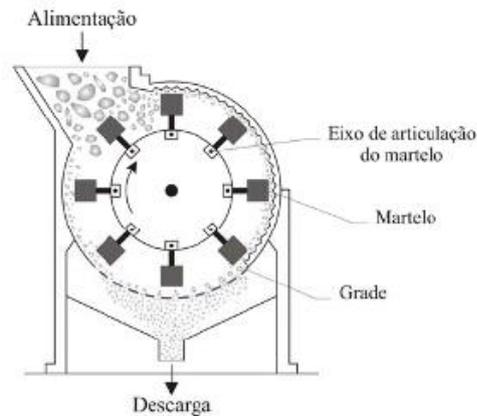


Fonte: RCM (2004) apud Cordeiro (2006)

2.8.2.2 *Moinhos de martelo*

Segundo Cordeiro (2006), apud Alves (2012), o moinho de martelos consiste, basicamente, de eixo que gira em alta rotação e no qual se encontram fixos, de forma articulada, vários blocos moedores (martelos). A alimentação entra pela parte superior do moinho, sofre sucessivos impactos dos martelos, fragmenta-se e é classificada em grade posicionada na parte inferior, onde o produto é separado das partículas maiores que são submetidas a novos impactos. A figura 8 apresenta a representação esquemática do moinho de martelos.

Figura 8 – Representação esquemática do moinho de martelos

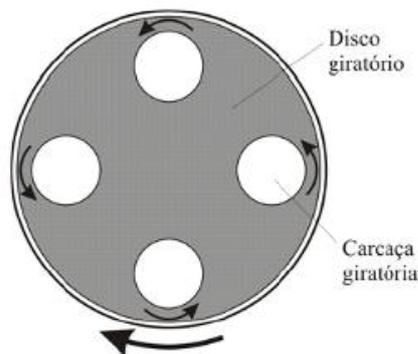


Fonte: Cordeiro (2006)

2.8.2.3 Moinhos planetários

Os moinhos planetários (figura 9) são geralmente utilizados em escala de laboratório, onde as carcaças cilíndricas têm normalmente volume interno de 500 ml. As aplicações mais comuns compreendem desde a preparação de amostras até a geração de produtos extremamente finos. A denominação desses moinhos advém do movimento das carcaças que se deslocam em trajetória circular ao redor de seu próprio eixo ao mesmo tempo em que translada em torno de um ponto fixo central. Desta forma, as velocidades angulares dos movimentos de translação e rotação são diferentes e a superposição das forças centrífugas faz com que os corpos moedores descrevam uma trajetória parabólica. Esses movimentos são semelhantes aos estados de movimento cascata e catarata dos moinhos rotativos. CORDEIRO, 2006, apud ALVES (2012)

Figura 9 – Representação esquemática do moinho planetário

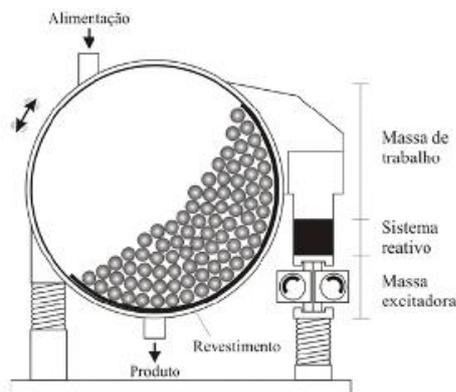


Fonte: Cordeiro (2006)

2.8.2.4 Moinhos vibratórios

Segundo Cordeiro (2006), apud Alves (2012), os moinhos vibratórios são constituídos por um ou vários cilindros conjugados a um sistema de massas centrífugas que produzem um movimento oscilante, de pequena amplitude, em trajetória circular de alta frequência (figura 10). Desta forma, a maior parte dos esforços é de baixa magnitude e o regime de movimento predominante é o de cascata.

Figura 10 – Representação esquemática do moinho vibratório

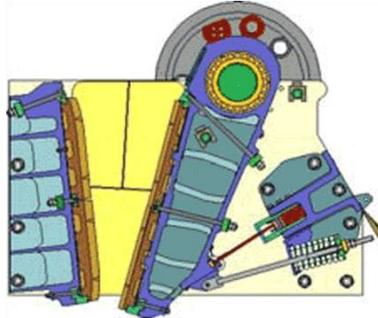


Fonte: Cordeiro (2006)

2.8.2.5 Britador de impacto

Este equipamento pode ser utilizado em britagem primária ou secundária, a depender da necessidade. Possui uma câmara de impacto na qual o material é britado através do choque de martelos maciços fixados por um rotor e pelo choque com placas fixas, conforme a figura 11. Lima (1999); Quebaud (1996), apud Leite (2001). As partículas já possuem linhas naturais de ruptura, portanto a ruptura por impacto acontece nestes pontos, gerando grãos mais íntegros. Por consequência, o agregado produzido oferece melhores características mecânicas. LIMA (1999) apud LEITE (2001)

Figura 11 – Triturador de impacto



Fonte: Metso Mineradora (fabricante do equipamento)

2.8.2.6 *Britador de mandíbula*

Os britadores de mandíbulas, figura 12, fraturam o material por esmagamento das partículas. O equipamento é dotado de uma câmara de britagem onde o material é literalmente mastigado por mandíbulas (Levy, 1997, apud Leite, 2001). Estes britadores não reduzem muito o tamanho das partículas, então são utilizados como britadores primários. Assim, geram uma grande quantidade de agregados graúdos, sendo o material geralmente rebitado em moinhos de martelo, britadores de mandíbula de pequeno porte, entre outros. LIMA, 1999 apud LEITE (2001)

Hansen (1992), aponta como vantagens da utilização deste britador a distribuição granulométrica resultante dos agregados mais adequada para o uso em concreto; proporciona britagem de apenas uma pequena quantidade do agregado original de concretos a serem reaproveitados. Como desvantagens tem-se a necessidade de uma segunda britagem, Lima (1999); Quebaud (1996), apud Leite (2001); peças armadas ou de madeira de maiores dimensões não devem ser britadas neste equipamento, pois geralmente ocorrem quebras do eixo do britador, Lima (1999); Brito Filho (1999); alta emissão de ruído, Lima (1999); e menor produtividade que os britadores de impacto. PINTO (1997)

Figura 12 – Britador de mandíbulas do LTM (Laboratório de Tecnologia Mineral da COPPE)



Fonte: Alves (2012)

2.9 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO PARA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares. Assim, uma metodologia que tenha por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção deve reunir e articular os conceitos e ferramentas relevantes ao desenvolvimento das diferentes atividades e deve compreender os seguintes tópicos: identificação e quantificação dos resíduos disponíveis; caracterização do resíduo; custos associados aos resíduos; seleção das aplicações a serem desenvolvidas; avaliação do produto, análise de desempenho ambiental; desenvolvimento do produto e transferência de tecnologia. Os tópicos são listados a seguir de acordo com as descrições dadas pelos autores. ÂNGULO et al. (2001), apud ALVES (2012).

2.9.1 Identificação e quantificação dos resíduos disponíveis

A determinação de dados quantitativos dos resíduos, como a quantidade nacional gerada, os locais de produção e a sua periculosidade, é de grande importância para a sua localização dentro do cenário econômico, social e político do local onde ele é gerado. Os inventários de resíduos são certamente as fontes mais fáceis de obtenção destas informações, mas nem sempre eles existem ou estão disponíveis. ÂNGULO et al (2001)

Ângulo (2001) aponta que nesta etapa é necessário confirmar e detalhar os dados sobre a geração do resíduo na empresa ou na região em estudo. Além da quantidade de resíduos anual ou mensal gerada é também importante neste estágio detectar eventual sazonalidade na geração do resíduo e o volume existente em estoque.

Outro aspecto importante ligado ao valor econômico dos resíduos de construção e demolição seria inferir ao resíduo gerado certo “valor agregado” advindo da sua separação e processamento dentro do próprio canteiro de obras. (LEITE, 2001)

2.9.2 Caracterização do resíduos

É fundamental um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídio para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado. É também importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas; é possível operar com matérias-primas bastantes variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição dos resíduos. ÂNGULO et al. (2001)

2.9.3 Custos associados aos resíduos

Os custos despendidos com os resíduos, como os de licenças ambientais, deposição de resíduos, transportes, as multas ambientais, entre outros devem ser considerados para a futura avaliação da viabilidade econômica da reciclagem. Da mesma forma, o faturamento obtido quando o produto é comercializado deve ser apropriado separadamente, assim como a proporção real entre o comercializado e o estocado. ÂNGULO et al (2001)

Uma das condições para viabilizar o novo produto no mercado é que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida ou que haja um nicho de mercado onde o produto apresente significativa vantagem competitiva. Para atrair o interesse do gerador do resíduo sob o estrito ponto de vista financeiro, a reciclagem precisa reduzir os custos com o resíduo, incluídos custos decorrentes da necessidade de mudança de tratamento do resíduo de forma a adequá-lo à reciclagem. ÂNGULO et al. (2001)

Na análise econômica da implantação de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição devem ser levados em consideração custos com: instalação de usinas de beneficiamento, instalação de pontos intermediários de disposição de resíduos; gerenciamento dos resíduos, entre outros. (LEITE 2001)

Os custos com a instalação de usinas de beneficiamento de resíduos de construção podem ser muito altos. O investimento deve ser de longo prazo, pois como salientam Peng et al. (1997), no período de adaptação do sistema pode haver baixa produtividade, assim como o mercado para os produtos reciclados pode estar apenas em desenvolvimento. (LEITE 2001)

Segundo Machado Jr. e Latterza (1997) apud Leite (2001), o custo por metro cúbico de agregado reciclado é aproximadamente 20% do custo do agregado natural. Dados levantados por Brito Filho (1999), na usina de reciclagem de São Paulo, indicam o custo dos agregados reciclados entre R\$ 5,20 a R\$ 7,80 por metro cúbico (R\$ 4,00 a R\$ 6,00 por tonelada), contra valores da ordem de R\$ 20,00 por metro cúbico de agregado natural comercializado na região, ou seja, uma economia de em média 67%.

Se forem computados os valores gastos no gerenciamento dos resíduos, a menor velocidade de esgotamento dos aterros sanitários ou de inertes, os menores gastos com transporte, entre outros, a economia conseguida com a reciclagem é ainda maior. Além disso, pode haver um barateamento dos insumos básicos de construção (areia e brita). LEITE (2001)

2.9.4 Seleção das aplicações a serem desenvolvidas

De acordo com as características físico-químicas dos resíduos, são avaliadas as aplicações tecnicamente viáveis a partir de sua reciclagem. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas características. Assim, a aplicação não deve ser feita em torno de ideias preconcebidas. Esta etapa requer uma grande variedade de conhecimentos técnicos, científicos e de mercado, exigindo o envolvimento de uma equipe multidisciplinar. ÂNGULO et al. (2001)

2.9.5 Avaliação do produto

A metodologia de avaliação do produto deve avaliar o produto desenvolvido em relação ao seu desempenho e a sua durabilidade. O desempenho de componentes tem por

objetivo analisar a adequação ao uso, ou seja, adequação às necessidades dos usuários de um produto quando integrado em alguma edificação. ÂNGULO et al (2001)

A durabilidade é um aspecto fundamental no desempenho do produto, afetando o custo global da solução e o impacto ambiental do sistema. O objetivo final do estudo de durabilidade é estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual o produto vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso. SJÖSTRÖM (1996) apud ÂNGULO et al (2001).

2.9.6 *Análise de desempenho ambiental*

É importante que o desempenho ambiental das alternativas de reciclagem sejam avaliados além dos usuais testes de lixiviação. Estes ensaios foram desenvolvidos para análise de risco ambiental de resíduos quando depositados em aterros. Geralmente, é utilizado apenas pelos órgãos de fiscalização do meio ambiente, e nem sempre com bom senso, sendo usado até mesmo como argumento para impedir processos de tratamento e de reciclagem de resíduos. ÂNGULO et al (2001)

Em 1998, a Comissão Europeia proibiu a importação do farelo de polpa cítrica brasileira (ração animal) porque foram encontrados níveis de dioxina muito acima do permitido. Detectou-se que a causa da contaminação era a cal utilizada para absorver água da polpa e tornar a ração mais neutra, cuja procedência era a filial brasileira de uma empresa química belga (Solvay) que gera o produto como um resíduo em sua linha de produção (subproduto). No entanto, a mesma cal continua a ser utilizada na construção civil. Visto que se trata de um resíduo (é um subproduto de outro processo produtivo) ela deveria ser analisada com critérios não apenas de engenharia, mas, principalmente, relacionados à saúde pública e ao meio ambiente, tendo em vista que mesmo utilizada como um material de construção ela pode causar danos aos trabalhadores, e aos usuários da construção e também ao meio ambiente, sempre considerando o período de exposição do berço ao túmulo ("*cradle-to-grave*"). ÂNGULO et al (2001)

2.9.7 *Desenvolvimento do produto*

O desenvolvimento do produto a partir do resíduo selecionado compreende as etapas de pesquisa laboratorial para o desenvolvimento de tecnologia básica, seguindo do

desenvolvimento da tecnologia aplicada que envolve o processo de produção e ferramentas de gestão e controle da qualidade. Finalmente, um estágio de pré-produção ou produção em escala semi-industrial é recomendável para o refinamento do produto. JOHN e CAVALCANTE (1996), apud ÂNGULO et al (2001)

Nesta fase um conceito importante é o da engenharia simultânea, onde é analisado simultaneamente o desenvolvimento da tecnologia, o desempenho do novo produto, aspectos relativos à manutenção, confiabilidade, marketing e aspectos ambientais, todos do berço ao túmulo. SWINK (1998) apud ÂNGULO et al (2001)

2.9.8 Aplicação – construção de concreto composto de agregados reciclados

A normalização ou regulamentação sobre o uso de resíduos na produção de concretos varia de país para país, podendo ser identificadas como exigências gerais, em relação aos agregados, as seguintes: ser suficientemente resistente para o uso no tipo de concreto em que for usado; ser dimensionalmente estável conforme as modificações de umidade; não reagir com o cimento ou com o aço usado nas armaduras; não conter impurezas reativas; ter forma de partículas e granulométrica adequadas à produção de concreto com boa trabalhabilidade. OLIVEIRA (2007)

Agregados construídos com resíduos reciclados de construção e de demolição podem ser aplicados em diversas finalidades. Lima (1999) recomenda a utilização dos resíduos reciclados no caso do concreto, para: contrapesos, calçadas externas e regularização de pisos sem função impermeabilizante; reforços não armados e reforços armados em elementos sem presença de umidade; execução de peças de reforço não armadas em muros de vedação; regularização de pisos para revestimento cerâmico, preferencialmente em pavimentos não apoiados diretamente sobre o solo; lastro para fundação em edificações térreas; fabricação de componentes de alvenaria de vedação; fabricação de outros componentes de concreto não armado, como lajotas de concreto para lajes mistas, tubos e canaletas para drenagem, Briquetes e lajotas de pavimentação (para tráfego leve), meios-fios, sarjetas e similares, fixação de mourões e portões em cercamentos e outros serviços simplificados, não armados. Contudo, não se recomenda utilizar concreto estrutural. OLIVEIRA (2007)

Os concretos permeáveis produzidos com reciclado apresentam, em geral, características diferentes dos concretos convencionais, e o grau de diferença vai variar de acordo com o tipo e qualidade do resíduo reciclado. Algumas características do concreto que podem ser modificadas pelo uso de resíduos reciclados são: resistência mecânica; absorção de água, porosidade e permeabilidade; retração por secagem; módulo de elasticidade; fluência e massa específica. As características do concreto com reciclado variam mais que as de concretos convencionais, pois além das variações ligadas à relação água/cimento e ao consumo de aglomerantes, há ainda as mudanças determinadas por variações na composição e outras características físico-químicas dos resíduos reciclados. OLIVEIRA (2007)

3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS

3.1 UTILIZAÇÃO DO MATERIAL RECICLADO COMO AGREGADO

A necessidade de obtenção de concretos mais duráveis e resistentes têm conduzido a estudos mais aprofundados das propriedades dos agregados. Deste modo, os agregados deixam de ter um papel apenas econômico na composição do concreto, podendo influenciar não só na trabalhabilidade, como também nas suas propriedades físicas, mecânicas e na durabilidade. (LEITE, 2001)

Mehta e Monteiro (2008), concluem que as características mais importantes a serem estudadas para utilização de agregados em concretos estão à granulométrica, a absorção de água, a forma e a textura, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes nos materiais. Este estudo limitar-se-á as características como a granulometria, absorção de água e a massa específica e unitária.

Os agregados reciclados apresentam características peculiares que dependem muito dos materiais que chegam às centrais de processamento e do tipo de processo utilizado nas mesmas como, por exemplo, o tipo de britador, os dispositivos para extração de impurezas, entre outros. QUEBAUD e BUYLE-BODIN (1999), apud LEITE (2001)

A maior heterogeneidade, menor resistência da matriz (concreto original) e maior porosidade são consideradas as principais diferenças entre o agregado reciclado de concreto e o agregado natural, Barra (1997). Estas características podem ser generalizadas para todos os tipos de agregados reciclados de construção e demolição disponíveis, pois todos os componentes do resíduo de construção, passíveis de reutilização, apresentam tais propriedades em menores ou maiores proporções. LEITE (2001)

Observa-se nas pesquisas desenvolvidas até aqui um grande esforço em utilizar os resíduos de construção e demolição separados para produção de novos materiais. Esta é considerada uma situação ideal, entretanto pouco prática, uma vez que reduz as possibilidades de reutilização da maioria dos resíduos gerados, principalmente em países com pouco desenvolvimento tecnológico e econômico. LAURITZEN (1998), apud (LEITE, 2001)

Lauritzen (1998), apud Leite (2001), inferem que, o uso de agregados reciclados misturados apresenta, em geral, melhores propriedades que o uso de componentes específicos

do resíduo para pavimentação. Todavia, acredita-se que estudos sistemáticos destas misturas podem levar à utilização dos agregados reciclados misturados também para produção de concreto. LEITE, (2001)

Somente uma caracterização sistemática dos agregados produzidos a partir de resíduos de construção e demolição permitirá melhor difusão do seu uso em concretos. Conhecer bem o comportamento do material reciclado dentro das misturas de concreto resultará em produtos de melhor qualidade e romperá possíveis barreiras para o completo reaproveitamento do resíduo. LEITE (2001)

3.1.1 Composição granulométrica

Composição granulométrica é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, são usualmente expressas em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de abertura das peneiras. MEHTA & MONTEIRO (2008).

O resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente. Com a curva granulométrica é possível ver, num simples relance, se a granulometria da amostra se enquadra em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em um determinado tamanho. Nas curvas granulométricas normalmente usadas, as ordenadas representam as porcentagens acumuladas passantes e as abscissas, as aberturas das peneiras em escala logarítmica. Como as aberturas das peneiras, em uma série padrão, estão em uma razão constante 1:2, um gráfico logarítmico mostra estas aberturas com espaçamentos iguais. NEVILLE (1997)

A utilização de agregados que atendam a determinada finalidade, bem como para produção de concreto, está baseada em critérios granulométricos preestabelecidos, sendo importante também considerar a forma de seus grãos e sua textura, uma vez que as formas mais angulares, ou seja, menos arredondadas, assim como texturas mais porosas são responsáveis por maior consumo de água em argamassas e concretos. LEVY (2001)

Segundo Levy (1997), produzir agregados reciclados bem graduados e limpos, não será suficiente para garantir a qualidade do processo de reciclagem. O material deverá ser

adequado à finalidade específica para a qual se destina, ou seja, fisicamente, sua granulometria deverá enquadrar-se dentro de determinados limites e, quimicamente, só poderá conter níveis mínimos toleráveis de contaminação, para que, desta forma, o concreto produzido possa ser durável e haja garantia da estabilidade das estruturas construídas.

Os agregados reciclados, tanto miúdo quanto graúdo, tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco maior. O tipo e a granulometria do resíduo, o britador e suas regulagens internas influenciam consideravelmente a granulometria final dos agregados reciclados produzidos. BAZUCO (1999); LIMA (1999), BANTHIA e CHAN (2000), apud LEITE (2001)

A granulometria dos agregados exerce influência sobre a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, além de ser importante parâmetro para a dosagem das misturas. BARRA (1996), apud Leite (2001)

Ogwuda et al. (1998), apud Leite (2001), realizaram um estudo da composição granulométrica de 60 amostras de agregados reciclados obtidos em 3 plantas de beneficiamento na Inglaterra e concluíram que o material apresentava-se bem graduado, com forma muito semelhante à de agregados naturais utilizados para sub-base de pavimentos rodoviários e, de forma geral, os resultados entre os materiais de diferentes origens tiveram pequena variação.

Devem ser tomados cuidados com a composição granulométrica dos agregados reciclados para possibilitar a produção de misturas de concreto trabalháveis, com grau de compactação satisfatório e que permitam o melhor desempenho técnico e a redução do custo dos concretos produzidos. LEITE (2001)

3.1.2 *Massa específica e massa unitária*

É consenso que tanto a massa específica, quanto a massa unitária dos agregados reciclados geralmente apresentam valores um pouco menores que os apresentados pelos agregados naturais correntemente utilizados na produção de concretos. LEITE (2001)

Bazuco (1999), apud Leite (2001), observa que os valores de massa específica dos reciclados são de 5 a 10 % mais baixos que os valores apresentados pelos agregados naturais, podendo os números variar um pouco, de acordo com a origem e a granulometria do material.

Conforme levantamento bibliográfico realizado por Hansen (1992), apud Leite (2001), os valores de massa específica de agregados originários de concreto oscilam entre $2,12 \text{ kg/dm}^3$ a $2,70 \text{ kg/dm}^3$. O autor relata ainda os resultados do estudo da massa específica somente da argamassa antiga de concreto com diferentes relações a/c, cujos valores ficaram em torno de $2,00 \text{ kg/dm}^3$. Concluiu, então, que a origem do concreto interfere pouco no valor da massa específica e que a mesma é geralmente mais baixa que a dos agregados naturais devido à argamassa antiga aderida às partículas do agregado reciclado de concreto.

Dessy et al (1998), apud Leite (2001), em seu estudo com agregados reciclados, encontraram valores de massa específica dos agregados que estão apresentados na tabela 6. Os valores apresentados são menores que os normalmente encontrados para os agregados naturais de mesma dimensão, correntemente utilizados na produção de concretos. De acordo com os autores, a diminuição da massa específica para as frações mais finas ocorre devido a maior quantidade de argamassa original existente nesta fração. Assim, segundo eles, existe uma tendência de normalização internacional em limitar a quantidade de pasta de cimento na composição do agregado reciclado através do limite de aceitação do material baseado na sua massa específica.

Tabela 6 – Massa específica de agregados de concreto de acordo com a faixa estudada

FRAÇÕES	MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL SECO	MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL SATURADO
0 - 4 mm	2,21 kg/dm^3	2,39 kg/dm^3
4 - 7 mm	2,23 kg/dm^3	2,36 kg/dm^3
4 - 16 mm	2,33 kg/dm^3	2,45 kg/dm^3

Fonte: Dessy et al (1998), apud Leite (2001)

Em trabalho desenvolvido por Topçu e Günçan (1995), os agregados graúdos reciclados de concreto utilizados possuíam massa unitária de $1,16 \text{ kg/dm}^3$. Enquanto a massa unitária dos agregados naturais varia entre $1,30$ a $1,75 \text{ kg/dm}^3$. MEHTA e MONTEIRO (1994), apud LEITE (2001)

Zordan (1997), apud Leite (2001), em seu estudo utilizando agregados reciclados de resíduos de construção, encontrou valores de massa unitária que estão apresentados na Tabela 4.2 . Zordan et al (1999) apresentam para as mesmas amostras de resíduos as massas específicas do agregado graúdo e miúdo que também podem ser vistas na tabela 7.

Tabela 7 – Massa unitária de agregados reciclados de composição mista

FAIXA GRANULOMETRICA	D < 4,8 mm		4,8 mm < D < 3,8 mm	
	γ (kg/dm ³)(1)	δ (kg/dm ³) (2)	γ (kg/dm ³)(1)	δ (kg/dm ³) (2)
A	2,54	1,40	2,01	1,09
B	2,50	1,37	1,04	1,00
C	2,42	1,43	2,01	1,12
D	2,54	1,41	2,09	1,16

D - Diâmetro do agregado | γ - Massa específica do agregado reciclado | δ - Massa unitária do agregado no estado solto

Fonte: (1) Zordan et al. (1999); (2) A partir de Zordan (1997), apud Leite (2001)

Latterza (1998), apud Leite (2001), realizou ensaios de massa específica e massa unitária no estado solto e no estado compactado de agregados graúdos reciclados com diâmetro máximo de 9,5 mm e encontrou os seguintes resultados: 1,10 kg/dm³ e 1,27 kg/dm³ para a massa unitária do agregado no estado solto e no estado compactado, respectivamente; e 2,45 kg/dm³ para a massa específica do agregado graúdo reciclado.

Os resultados de massa específica e de massa unitária encontrados na bibliografia são muito variáveis, mesmo para materiais reciclados com composição muito parecida. Este fato pode ser explicado com base em dois aspectos. Primeiro, a própria composição do material, o tipo de beneficiamento realizado, a granulometria, entre outros fatores, são capazes de interferir na densidade dos agregados reciclados. Além disso, outro ponto que pode ser considerado muito importante é o método utilizado na determinação destas propriedades. Deste modo, deve haver muito cuidado durante a execução dos ensaios de caracterização de novos materiais, inclusive devem ser levadas em consideração certas limitações no uso de normas e procedimentos de ensaio. É preciso, às vezes, considerar a utilização, ou mesmo, o desenvolvimento de outros métodos de quantificação para determinadas propriedades dos materiais reciclados. LEITE (2001)

Além disso, conhecer as massas específica e unitária dos agregados é necessário para realizar o estudo de dosagem dos concretos. Pelos valores apresentados conclui-se que existe a necessidade de realizar uma compensação da quantidade de material reciclado a ser utilizada nas misturas de concreto quando traços em massa de concretos convencionais são aplicados aos concretos reciclados. Sem este procedimento o volume de material reciclado correspondente à massa de agregado natural seria maior, resultando numa distorção entre os

volumes de concreto convencional e reciclado produzidos a partir de um mesmo traço unitário. LEITE (2001)

3.1.3 *Absorção de água*

Para os agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto, pois os agregados apresentam pouca, ou nenhuma, porosidade. No entanto, quando se utiliza agregados reciclados para produção de concretos permeáveis, esta influência torna-se uma grande preocupação, pois este material apresenta valores bem mais altos de absorção que os agregados naturais geralmente utilizados. LEITE (2001)

Barra (1996), apud Leite (2001), fornece considerações qualitativas a respeito da absorção de água de agregados graúdos reciclados quando o material é adicionado diretamente à pasta de cimento, ou à argamassa. Ela menciona que a absorção não ocorre uniformemente, que se dará principalmente na zona de contato entre a pasta e o agregado, ou entre a argamassa e o agregado, variando, assim, a relação água/cimento da mistura de concreto, havendo um gradiente decrescente da pasta, ou argamassa, até a superfície do agregado. As características do agregado e a consistência da pasta, ou argamassa, são de fundamental importância para definição da quantidade de água que será absorvida pelo agregado, a partir da mistura de concreto. Quanto mais seco, poroso, de menor dimensão for o agregado e quanto maior a fluidez da pasta, ou argamassa, maior será a quantidade de água absorvida. No entanto, se o agregado seco ao ar é primeiramente misturado somente à água, ocorre maior absorção de água pelo agregado antes da mistura do concreto e a probabilidade do agregado absorver água da mistura é muito menor, pois as partículas já estarão quase saturadas, podendo inclusive ocorrer o fenômeno inverso, ou seja, o agregado devolver parte da água absorvida para a mistura.

A Building Contractors Society in Japan (B.C.S.J.), apud Hansen (1992) e Leite (2001), encontrou valores de absorção da ordem de 3,6 a 8 % para os agregados reciclados graúdos e de 8,3 a 12,1 % para os reciclados miúdos, ambos originários de concreto. Em estudo realizado por Hansen e Narud (1983), foram encontradas taxas de absorção de 8,7 % para agregados entre 4 e 8 mm e de até 3,7 % para agregados entre 16 e 32 mm.

Barra (1996), apud Leite (2001), encontrou valores de taxa de absorção para agregados reciclados que estão apresentados na tabela 8. Observa-se que quanto menor o diâmetro do agregado e maior a porosidade inerente do material, maior é a taxa de absorção obtida.

Tabela 8 - Taxas de absorção de agregados reciclados em função do componente e da granulometria

COMPONENTES REICLADO	FRAÇÕES	ABSORÇÃO ¹ (%)
Concreto	12 - 20 mm	6,85
	6 - 12 mm	7,49
Material Cerâmico	12 - 20 mm	14,50
	6 - 12 mm	14,40
1 - Capacidade de absorção do material em função da massa do material seco em estufa		

Fonte: Barra (1996), apud Leite (2001)

A absorção de água dos agregados reciclados é muito importante quando se estuda o seu uso em concretos, pois esta taxa interfere diretamente na relação água/cimento final das misturas. Além disso, se a absorção não for considerada, além da redução da relação água/cimento, haverá uma diminuição substancial da trabalhabilidade do material, deixando o concreto muito seco. LEITE (2001).

Fazendo uma análise simplista, quando se produz concretos com agregados reciclados existe a necessidade de acrescentar mais água à mistura, comparando com um mesmo traço feito com agregado natural. A depender da quantidade de água a mais a ser incorporada na mistura, haverá um aumento da relação água/cimento e conseqüente redução da resistência mecânica. Assim, para manter a resistência haverá a necessidade do aumento do consumo de cimento, o que aumenta o custo do concreto produzido. Compensar apenas parcialmente a taxa de absorção dos agregados reciclados é uma boa alternativa para minimizar os problemas com a trabalhabilidade das misturas e ao mesmo tempo para que não haja excesso de água no concreto com conseqüente redução da resistência mecânica. LEITE (2001).

3.1.4 *Concreto constituído de agregado reciclado*

Em consequência dos agregados reciclados terem propriedades variáveis, os concretos com eles confeccionados também tendem a apresentar variabilidade das propriedades que dependem do agregado. O conhecimento dessas propriedades é tão importante quanto o conhecimento das propriedades do agregado visto que são a partir do entendimento das relações existentes entre esses dois conjuntos de dados que se pode proporcionar o emprego adequado e confiável dos agregados reciclados. Também é baseado no conhecimento das propriedades e do desempenho dos concretos que se restringe ou se aponta seu melhor uso, dimensionam-se as estruturas e estabelecem-se valores limites em normas e recomendações. TENÓRIO (2007)

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO RECICLADO

3.2.1 *Ar incorporado ao concreto*

O ar incorporado no concreto é definido como o ar introduzido intencionalmente, por meio de um agente apropriado. Esse ar deve ser claramente distinguido do ar aprisionado acidentalmente; os tipos de ar diferem pelas dimensões das bolhas, sendo que aquelas de ar incorporado tem diâmetro da ordem de 0,05 mm, enquanto que as de ar acidental normalmente formam bolhas maiores, algumas tão grandes como as falhas superficiais comum do concreto. NEVILLE (1997)

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), podem-se encontrar vazios preenchidos por ar dentro do concreto de duas formas: através de bolhas de ar incorporado ou através de vazios de ar aprisionado. As bolhas de ar incorporado possuem dimensões entre 100 μ m e 1 μ m de diâmetro, enquanto os vazios de ar aprisionado são maiores, ficando entre 1mm e 10 mm. Os vazios de ar aprisionado, que na maioria das vezes são causados por deficiência nas dosagens e escolha dos materiais, são nefastos à qualidade final do concreto, podendo comprometer as propriedades mecânicas de resistência à compressão e módulo de elasticidade. Outro aspecto negativo em relação à presença de vazios de ar aprisionado no concreto é a aparência final, com a formação de macro bolhas superficiais. No caso de concreto aparente a presença de macro bolhas superficiais é totalmente indesejável.

Segundo Neville (1997), quanto às bolhas de ar incorporado, podem ter duas origens. A primeira, com a natural incorporação de pequenas quantidades de ar, disseminadas através de micro bolhas na massa do concreto. A segunda, através da utilização de aditivos incorporadores de ar ao concreto. A incorporação denominada natural, bem como a presença de vazios de ar incorporado advém de fatores como tipo de finura dos aglomerantes e agregados miúdos, dosagem dos materiais, tipo e grau de adensamento aplicado, temperatura e tempo de mistura do concreto.

A incorporação através de aditivos se dá em casos especiais com os objetivos de redução do tamanho das macro bolhas (vazios de ar aprisionado), aumento da trabalhabilidade do concreto, redução do consumo de cimento e melhoria da qualidade do concreto quanto à ação de gelo e degelo. Dentro de limites aceitáveis, para incorporações de até 6% através de aditivos, a cada incremento da incorporação de ar em 1% pode-se permitir a redução da água da mistura em até 3% e a percentagem de areia em até 1% levando a melhorias na resistência à compressão simples do concreto. NEVILLE (1997)

O controle do teor de ar incorporado é fundamental ao controle da qualidade do concreto, quer seja para verificar limites máximos e mínimos desejáveis de ar incorporado, ou para identificar teores de vazios de ar no concreto. No Brasil a NBR NM 47/02 – Concreto Fresco – Determinação do Teor de Ar pelo Método Pressométrico, é o ensaio utilizado para a obtenção do valor do ar incorporado e/ou aprisionado no concreto.

Concretos convencionais contêm no seu interior, mesmo sem o uso de aditivos incorporadores de ar, 1 a 3% do seu volume em ar aprisionado, devido ao processo de mistura e a sua consistência. Nos casos de concretos produzidos em centrais e transportados por caminhões betoneira este percentual pode chegar à ordem de 4%. Percentuais de ar incorporado acima de 5% podem trazer prejuízos ao desempenho mecânico do material. NEVILLE (1997)

O teor de ar no concreto é, portanto, um tema de extrema importância à sua qualidade final. O controle dos percentuais de ar no concreto fresco permite aferir as dosagens, as adições de aditivos e, como consequência, garantir a qualidade do material. Valores de ar acima dos previstos na dosagem do material indicam que o concreto poderá sofrer prejuízos mecânicos, como reduções de resistência à compressão e módulo de elasticidade, ou estéticos como a formação de macro bolhas superficiais.

3.2.2 *Trabalhabilidade*

Há uma unanimidade em afirmar que concretos com agregados reciclados apresentam menor índice de consistência que as misturas executadas com agregados naturais de mesmo traço. Tal afirmação se justifica na maior porosidade apresentada pelo material reciclado, fato que acaba aumentando a absorção de água do mesmo, e diminuindo a quantidade de água livre das misturas, Levy (1997); Topçu e Günçan (1995); Hendriks e Pietersen (1998), apud por Leite (2001). Bazuco (1999), apud por Leite (2001), aponta também a forma mais angular dos agregados reciclados como fator da diminuição da trabalhabilidade dos concretos produzidos com este material.

Concretos de alvenaria britada podem ser produzidos com todo tipo de consistência, desde os muito rijos até os mais plásticos, desde que os tijolos ou blocos provenientes da alvenaria apresentem maior densidade, ou seja, tenham menor porosidade, e por consequência uma taxa de absorção de água um pouco menor, Schulz e Hendriks (1992), apud por Leite (2001). Os autores relatam ainda trabalhos nos quais alguns concretos usando agregado graúdo de material cerâmico e agregado miúdo de resíduo misto apresentou maior trabalhabilidade que as mesmas misturas feitas com agregados miúdos naturais, Schulz e Hendriks (1992), apud Leite (2001). Porém, o que se pode notar é que quando se utiliza materiais cerâmicos na composição do resíduo de construção e demolição, a trabalhabilidade é ainda mais reduzida, diferente do que afirmam os autores acima. (LEITE, 2001)

A alta taxa de absorção de água dos agregados reciclados é fator preponderante para heterogeneidade dos valores de índice de abatimento medidos nos concretos reciclados, Quebaud e Buyle-Bodin (1999), apud Leite (2001). Entretanto, os autores afirmam que a pré-umidificação dos agregados reciclados antes da mistura para produção do concreto se apresenta como boa alternativa para limitação deste problema. Além disso, pode-se lançar mão do uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes. Todavia, o uso de tais produtos incidirá diretamente no custo final do concreto produzido e este fato pode reduzir qualquer vantagem econômica oferecida pelo concreto reciclado. LEITE (2001).

Concretos com agregados reciclados não depende principalmente da quantidade de água existente na mistura como é o caso do concreto convencional, mas sim da forma e da textura do agregado reciclado utilizado. Estas duas propriedades proporcionam, principalmente, um maior travamento das misturas de concreto, dificultando a mobilidade das

partículas que necessitarão de maior quantidade de pasta para vencer esta barreira. RASHWAN e ABOURIZK (1997), apud LEITE (2001).

Hansen e Narud (1983), apud Leite (2001), compararam concretos produzidos com agregados reciclados de concreto com concretos convencionais e concluíram que os primeiros necessitam de 5 % a mais de água livre para atingir os mesmos índices de consistência dos últimos. Além disso, observaram também que existe maior coesão entre as partículas de agregados reciclados e que a perda de abatimento dos concretos reciclados é mais rápida que dos concretos com agregados naturais. A forma das partículas mais angular e com superfície mais áspera apresentada pelo agregado reciclado é um dos motivos da necessidade de maior quantidade de água livre nas misturas dos concretos. A maior coesão deriva do atrito entre a superfície áspera do agregado reciclado e da geração de finos observada durante a mistura dos concretos, devido a menor resistência do material. A perda de abatimento mais rápida observada nos concretos reciclados se deve em parte à contínua absorção de água pelo agregado, mesmo depois da mistura terminada.

A trabalhabilidade é bastante ampla, utilizando-se de várias propriedades físicas para sua determinação e, deste modo, sua medição não pode ser realizada através de um único método. É possível afirmar, ainda, que nenhum dos métodos utilizados consegue medir a trabalhabilidade de forma direta. A maioria fornece uma medida indireta que não diz respeito à trabalhabilidade na sua definição mais abrangente, mensurando apenas uma das propriedades físicas relacionadas com esta propriedade do concreto. COUTINHO (1997b); DACZKO (2000), apud LEITE (2001)

Mehta e Monteiro (2008) apresentam os três métodos mais usados para avaliação da trabalhabilidade dos concretos. O primeiro, o método de abatimento do tronco de cone, o segundo, o ensaio VeBe, e o terceiro, o ensaio de fator de compactação.

O ensaio de abatimento do tronco de cone é o ensaio que será utilizado neste estudo, considerado como um índice qualitativo da estabilidade e da fluidez da mistura de concreto no estado fresco, sendo o de maior utilização para controle de uniformidade da produção de concretos em todo o mundo.

Através dos resultados encontrados na bibliografia, observa-se que ainda não existe um parâmetro único para nortear a produção dos concretos com agregados reciclados, tão pouco, para medir a trabalhabilidade deste material de forma satisfatória. Deste modo, a

trabalhabilidade do concreto reciclado merece um estudo mais cuidadoso e aprofundado com o intuito de dirimir estas incertezas. LEITE (2001).

3.2.3 *Resistência à compressão*

A resistência de um material é definida como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, portanto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, sendo definida como a tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar. No ensaio de tração, a fratura do corpo de prova normalmente significa ruptura. Na compressão, o corpo de prova é considerado rompido, mesmo não havendo sinais visíveis de fratura externa. No entanto, as fissuras internas terão atingido um estado avançado tal que o corpo de prova não suporte uma carga maior. MEHTA E MONTEIRO (2008)

A resistência é considerada, geralmente, a propriedade fundamental do concreto, embora, em muitos casos, a durabilidade e a impermeabilidade possam ser de fato, mais importante. Não obstante, a resistência dá, normalmente, uma indicação geral da qualidade do concreto por estar diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento endurecida. NEVILLE (1997)

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resposta do concreto às tensões aplicadas depende não apenas do tipo de tensão, mas também de como a combinações de fatores afeta a porosidade dos deferentes componentes estruturais do concreto. Os fatores influem propriedades e proporções dos materiais que formam o traço do concreto, o grau de compactação e as condições de cura. Do ponto de vista da resistência, a relação entre relação água/cimento e porosidade é, sem dúvida, o fator mais importante, porque, independente de outros fatores, afeta a porosidade da matriz da argamassa de cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado graúdo.

A determinação direta da porosidade dos componentes estruturais individuais do concreto – matriz e a zona de transição da interface – é impraticável; assim modelos precisos para previsão da resistência não podem ser desenvolvidos. Porém, ao longo do tempo, muita relação empírica úteis tem sido descobertas e, para uso prático, fornecem bastante informação indireta sobre a influência de numerosos fatores na resistência à compressão (a resistência à compressão é amplamente usada como índice para todos os outros tipos de resistências). MEHTA E MONTEIRO (2008).

Segue algumas conclusões de estudos sobre os fatores que influenciam a resistência do concreto permeável, composto de agregados reciclados, encontrados no estudo bibliográfico, referentes as propriedades deste concreto.

Segundo Leite (2001), todos os materiais dos quais o concreto é composto, afetam diretamente a sua resistência e o seu desempenho final. Assim, os agregados também são extremamente importantes para análise criteriosa das propriedades do concreto. Qualquer variação dos materiais componentes do concreto merece um estudo sistemático e isso também se aplica ao agregado reciclado, principalmente quando se pensa que eles correspondem até 80 % de toda mistura.

A resistência do concreto só não é influenciada pela resistência do agregado graúdo quando seus valores são muito superiores aos valores de resistência do concreto, como por exemplo, valores de resistência das rochas maiores que 60 a 70 MPa. Caso contrário, a resistência dos agregados deve ser levada em consideração na análise dos fatores que influenciam a resistência final dos concretos. COUTINHO (1997a)

Dolara et all. (1998), apud Leite (2001), avaliaram a resistência à compressão de concretos com 50 e 100 % de substituição do agregado natural pelo reciclado e a influência do tipo de cura realizado sobre os resultados obtidos. Concluíram que a cura úmida dos concretos leva a um aumento de 10 % nos resultados de resistência comparados aos concretos curados ao ar.

Quando se analisa a resistência à compressão, fatores como as propriedades dos agregados reciclados utilizados, o teor de substituição e os níveis de resistência em que se está trabalhando devem ser levados em consideração. Para níveis inferiores de resistência, as diferenças tendem a ser menores. BAZUCO (1999), apud LEITE (2001).

Topçu e Günçan (1995) substituíram teores de 0, 30, 50, 70 e 100 % de agregados naturais por reciclados de concreto para produção de novos concretos e encontraram reduções nos valores de resistência dos concretos da ordem de 80%. Tanto menor era a resistência do concreto reciclado, quanto maior o teor de substituição do agregado.

Salem e Burdette (1998), apud Leite (2001), realizaram estudos comparativos em concretos com agregado graúdo reciclado e miúdo natural e concretos com ambas as frações naturais e concluíram que a resistência à compressão dos concretos com agregado graúdo reciclado era maior que a do concreto convencional. Os autores atribuíram o melhor

comportamento do concreto reciclado à forma mais angular e à textura mais áspera do material reciclado que proporciona melhor aderência e maior travamento entre a pasta de cimento e o agregado se comparado ao agregado natural. Além disso, outra causa apontada para o melhor desempenho do concreto reciclado foi a maior absorção de água apresentada pelo agregado reciclado, que pode ter ocasionado diminuição da relação água/cimento do concreto.

Ballista e Machado Jr. (2000), apud Leite (2001), realizaram um estudo em concretos com agregados graúdos reciclados modificados com adição de polímero nos teores de 0, 10, 20 e 30 % em relação à massa de cimento. Observaram que apenas para o teor de 10 % de adição de polímero o concreto com agregado reciclado apresentou resultados de resistência à compressão semelhante ao concreto de referência. Para teores de adição maiores que 10 % os resultados obtidos apresentaram uma queda de resistência que variou de 20 a 46 %. É importante salientar que foram mantidas as relações a/c para todos os traços. Além disso, os autores avaliaram 4 tipos de cura e concluíram que o melhor tipo de cura para os quatro traços desenvolvidos foi aquele no qual era realizada 6 dias de cura submersa em água e 21 dias de cura ao ar. A avaliação do tipo de cura está relacionada à adição de polímero às misturas. LEITE (2001).

Leite (2001), conclui que diante dos vários resultados encontrados e dos mais variados tipos de pesquisas desenvolvidas, existe dificuldade em apontar quais dos comportamentos observados para os concretos produzidos com agregados reciclados é o mais correto. Este fato é atribuído à dificuldade de avaliar quais parâmetros foram tomados como constantes em cada estudo para fazer as devidas comparações. Ou seja, a falta de um procedimento uniforme para as pesquisas torna difícil a adoção deste ou daquele resultado como parâmetro que sirva como orientador do comportamento do material, ou que ajude a corroborar os resultados já existentes.

3.2.4 Resistência à tração

Apesar da resistência à tração do concreto ser uma característica secundária, uma vez que o concreto não resiste bem aos esforços de tração, no entanto, como o concreto poroso constituído de agregado graúdo reciclado ainda possui um número pequeno de pesquisa, se faz necessário o estudo dessa propriedade mecânica.

Machado Jr. et all. (1998) e Bazuco (1999), apud Leite (2001), afirmam que não há influência da utilização de agregado graúdo reciclado na resistência à tração de concretos. Os autores mencionam ainda que concretos com material reciclado obedecem às mesmas relações teóricas entre resistência à tração e resistência à compressão que concretos convencionais de mesma classe. Porém, BAZUCO (1999) ressalta que quando se utiliza também o agregado miúdo reciclado, tal propriedade apresenta uma redução da ordem de 10 a 20 %.

Ravindrarajah e Tam, Mukai et al, apud Hansen (1992) e Leite (2001), inferem que os concretos com agregados graúdos de concreto reciclado apresentaram as mesmas relações de resistência à compressão e tração de concretos com agregados naturais. Bazuco (1999), apud Leite (2001), apontou índices de resistência à tração ligeiramente mais baixos para concretos com agregado graúdo reciclado quando comparados com concretos convencionais.

Tavakoli e Soroushian (1996b) encontraram valores de resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão de concretos com agregados reciclados de concreto que variaram de acordo com o tempo de mistura, a relação água/cimento e a dimensão máxima do agregado. Os concretos com agregados com maior dimensão característica apresentaram melhores resultados de resistência à tração. O tempo de mistura de 30 minutos não apresentou diferenças significativas nos resultados. De forma geral os autores mencionam que os resultados foram maiores ou estatisticamente comparáveis para os concretos reciclados em relação aos concretos convencionais. LEITE (2001)

Mansur et all. (1999), apud Leite (2001), avaliaram a resistência à tração de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de blocos cerâmicos e concretos convencionais, com 4 relações água/cimento variando de 0,3 a 0,6. Os resultados mostraram que o concreto reciclado apresentou um aumento de resistência de 9 e 12 % para a resistência à tração na flexão e por compressão diametral, respectivamente, em relação ao concreto de referência. Os autores atribuem este comportamento à forma angular e textura rugosa dos agregados reciclados que proporcionam melhor aderência pasta/agregado.

Como pode ser visto, assim como com os resultados de resistência à compressão, a resistência à tração de concretos reciclados não obedece a um comportamento uniforme, pelo menos nos estudos levantados na bibliografia. Porém, vale a pena levantar algumas hipóteses que merecem estudos mais aprofundados, como por exemplo, que a resistência à tração leva em consideração mecanismos de aderência física entre as partículas. Assim, seria correto dizer que esta aderência entre a matriz de concreto e a superfície dos grãos do agregado

ocorre mais facilmente e melhor em materiais cuja forma apresenta-se mais irregular e cuja textura é mais rugosa, pois há um aumento da área superficial de contato e há um maior entrelaçamento dos compostos de hidratação com os poros superficiais do material. LEITE (2001).

3.2.5 *Módulo de Deformação ou Elasticidade*

Assim como a resistência à compressão, o módulo de elasticidade do concreto depende da porosidade de suas fases (pasta, agregado e zona de transição). Dessa forma, muitos comportamentos observados na resistência repetem-se no módulo de elasticidade. No caso do agregado, sua dimensão máxima, forma, textura superficial, granulometria e composição mineralógica também podem influir no módulo de elasticidade por influenciar a micro fissuração da zona de transição. Todavia, a porosidade é mais importante em virtude de estar ligada à sua rigidez, resistência. MEHTA e MONTEIRO (2008)

O módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados de material cerâmico equivale à metade, ou a dois terços, dos valores obtidos para concretos convencionais com mesma resistência à compressão. O intervalo de variação se deve ao tipo de material cerâmico utilizado, ou seja, quando se trata de tijolos mais densos os resultados são um pouco melhores, quando se utiliza materiais mais porosos, portanto de menor qualidade, os resultados são um pouco piores. SCHULZ e HENDRICKS (1992)

Hansen (1992) e Leite (2001), estudando concretos com substituição total dos agregados graúdos naturais pelos reciclados e usando agregado miúdo natural, concluíram que: a diferença entre o módulo de deformação de concretos reciclados e concretos convencionais aumenta à medida que cresce o valor da resistência à compressão; o módulo de deformação de concretos reciclados é sempre menor; para concretos reciclados há uma redução de 25 % e 35 % no módulo dos concretos curados em água, e ao ar, respectivamente, quando comparados ao mesmo concreto de referência curado em água; e por fim que o uso de agregado miúdo reciclado diminui o valor do módulo, tanto quanto o uso de agregado graúdo reciclado.

Delwar et al. (1997), apud Leite (2001), desenvolveram uma pesquisa utilizando agregado graúdo reciclado de pavimento asfáltico para produção de concretos com diferentes teores de substituição. Concluíram que quanto maior o teor de substituição do agregado, mais

dúctil era o concreto obtido. Este aspecto pode ser considerado favorável quando se requer a utilização de concretos em áreas onde se deseja atenuar a força de impacto e energia. Nesta mesma pesquisa foi investigado o módulo secante dos concretos e concluiu-se que à medida que se aumenta o teor de substituição, o valor do módulo diminui.

O estudo sobre concretos com agregado graúdo reciclado, com dimensões máximas de 19,0 e 9,5 mm e teores de substituição de 0, 50 e 100 %, realizado por Machado Jr. et al. (2000), apud Leite (2001), concluiu que não havia influência significativa nem da dimensão máxima característica, nem do teor de substituição utilizado para a produção dos concretos sobre os resultados de módulo de deformação. Entretanto, é importante salientar que a taxa de absorção do agregado reciclado não foi compensada para a produção dos concretos o que deve ter provocado a diminuição da relação água/cimento final das misturas com consequente aumento nos resultados de módulo de deformação dos concretos reciclados.

Os concretos com agregados graúdos reciclados de concreto, estudados por Salem e Burdette (1998), apud Leite (2001), apresentaram uma redução nos valores de módulo de deformação de cerca de 9% aos 7 dias, e 16% aos 28 dias, comparados aos concretos convencionais. De acordo com os autores, esta redução se deve a camada de argamassa antiga aderida às partículas do agregado reciclado. Esta argamassa antiga confere ao agregado reciclado maior deformabilidade, assim como ao concreto confeccionado com este material.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), dizem que o módulo de deformação do concreto está intrinsecamente ligado à fração volumétrica, à massa específica, ao módulo de deformação do agregado e da matriz de cimento e às características da zona de transição. Os autores apontam que o módulo de deformação do agregado está ligado principalmente à sua porosidade e, em grau um pouco menor, ao diâmetro máximo do agregado, forma, textura, granulometria e composição mineralógica. Segundo eles, é a rigidez do agregado que controla a capacidade de restrição da deformação da matriz e esta rigidez é determinada pela sua porosidade. Para agregados de baixa porosidade, os valores de módulo de deformação variam de 69 a 138 GPa e para agregados menos densos estes valores estão na faixa de 21 a 48 GPa. Os agregados leves apresentam valores de módulo entre 7 e 21 GPa. A matriz da pasta de cimento apresenta resultados de módulo que variam entre 7 e 28 GPa. Estes valores são regidos pela porosidade das pastas, que por sua vez é controlada pela relação a/c, pelo grau de hidratação do cimento, pelo conteúdo de ar da mistura e pela presença de adições minerais.

Na zona de transição existe a influência dos espaços vazios, das microfissuras e dos cristais de hidróxido de cálcio orientados sobre as relações de tensão/deformação.

Com base nas características que influenciam o módulo de deformação, pode-se dizer que o módulo de deformação dos agregados reciclados está bem próximo dos valores de módulo apresentados pela matriz da pasta de cimento, visto que a composição dos resíduos de construção e demolição se dá basicamente a partir de materiais de base cimentícia (argamassas de concreto, de revestimento e de execução de alvenaria) e componentes cerâmicos muito porosos. Desta forma, como a porosidade do agregado é que controla a restrição da deformação da matriz, no caso do agregado reciclado o concreto produzido será mais deformável, pois esse controle é incipiente. Matriz e agregado do concreto reciclado são muito mais porosos quando comparados aos concretos produzidos com agregados naturais. A diminuição da massa específica dos concretos reciclados também leva a reduções nos valores de módulo. Resta apenas a influência da zona de transição que pode ter tido uma aderência melhorada, como já foi visto anteriormente, mas que por si só não é suficiente para elevar os valores de módulo dos concretos reciclados. LEITE (2001)

4 ESTUDO EXPERIMENTAL

Este trabalho descreve a etapa de concepção da campanha experimental para a produção de pavimentos permeáveis como aplicação futura em escala urbana, utilizando resíduos de construção e de demolição (RCD). Os efeitos dos agregados reciclados foram avaliados sobre as propriedades mecânicas do concreto permeável no estado fresco (teor de ar incorporado e trabalhabilidade) e sobre o estado endurecido (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade). Partindo-se dos resultados obtidos, foram produzidas placas de concretos, compostos por cinco tipos de misturas de concreto permeável, que poderão ser aplicados como revestimento final em solos com perfis permeáveis.

Para produção dos corpos de prova de concreto permeável, foram consideradas cinco misturas; (I) 100% de agregado graúdo natural - AGN, (II) 100% agregado graúdo de resíduo de demolição – AGD, (III) 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC, (IV) 50% de AGN e 50% de AGD, (V) REF - agregado miúdo e graúdo natural. Foram moldados corpos de provas, com cada uma das cinco misturas, para a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão e para produção das placas de concreto permeável que serão utilizadas como revestimento final de piso, em local descoberto, no laboratório do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro, para testes de permeabilidade, parte integrante do Projeto “*Desenvolvimento de soluções urbanísticas e ambientalmente adequadas de manejo de águas pluviais, visando à redução do impacto sobre o hidrograma de enchente, em bacias experimentais urbanas*”, de sigla MAP, financiado pela FINEP.

Partindo do ponto que um dos objetivos deste trabalho é avaliar algumas das propriedades mecânicas de concretos permeáveis produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e de demolição, foram definidas as seguintes variáveis de resposta; 1) Teor de ar incorporado ao concreto; 2) Trabalhabilidade (medida pelo índice de abatimento do concreto); 3) Resistência à compressão axial; 4) Resistência à tração por compressão diametral; 5) Resistência à tração na flexão; 6) Módulo de deformação.

As pesquisas experimentais são realizadas para quantificar a relação existente das variáveis de resposta, que possam ser mensuradas, e o grupo de elementos experimentais que conseguem modifica-las, por conseguinte, tentando encontrar os valores desses elementos, que possam produzir os valores de resposta mais adequado. Com as variáveis de resposta determinadas, foram definidas também as premissas do processo produtivo, que estão relacionados no quadro 15, variáveis essas que podem ser alterados e que provavelmente tenham algum efeito sobre as variáveis de resposta.

Quadro 15 - Variáveis importantes para o processo produtivo do concreto permeável

ITEM	VARIÁVEIS
1	Relação água/cimento (a/c)
2	Percentual dos agregados graúdos reciclados de construção (AGC) e dos agregados graúdos de demolição (AGD)

Fonte: Acervo do Autor (2014)

Definidas as variáveis de resposta e as composições dos parâmetros do processo que foram definidas na pesquisa (relação a/c; % agregado Graúdo Const; % agregado Graúdo Dem e % Agregados Graúdos e Miúdos Nat), foram estabelecidos os fatores que deveriam ser mantidos constantes durante a execução do experimento (idade do concreto; tipo de cura e pré-umidificação dos agregados graúdos), relacionadas no quadro 16.

Quadro 16 - Variáveis fixas e suas premissas

VARIÁVEIS FIXAS	PREMISSAS
Idade do concreto	Foi estabelecida como idade padrão 28 dias.
Tipo de cura	Câmara de úmida.
Pré-umidificação dos agregados reciclados	Adotou-se 40% da taxa de absorção dos agregados graúdos, determinado pelas curvas de absorção em 24 horas, realizado por Leite (2001).

Fonte: Acervo do Autor (2014)

A tabela 9 apresenta um resumo esquemático, englobando todos os parâmetros de execução do experimento, incluindo os números de corpos de provas e seus respectivos ensaios. Sendo CONST (construção), DEM (demolição) e NAT (natural).

Tabela 9 – Resumo esquemático das variáveis estudadas no experimento, quantidade de corpos de prova e dos ensaios realizados

MISTURA	FATOR ÁGUA/CIMENTO	% AGREGADO GRAÚDO CONST.	% AGREGADO GRAÚDO DEM.	% AGREGADO AGRAÚDO NAT	% AGREGADO MIÚDO NAT	N.º CORPOS DE PROVA	
						CILÍNDRICO Ø 100 mm x 200 mm	PRISMÁTICO 100 x 100 x 400 mm
Convencional	0,5			50	50	12 (1)	4 (2)
Agregado graúdo natural brita 1 Permeável	0,37			100		12 (1)	4 (2)
Agregado graúdo de demolição (100%)	0,39		100			12 (1)	4 (2)
Agregado graúdo de construção (100%)	0,48	100				12 (1)	4 (2)
Agregado graúdo de construção (50%) e de demolição (50%)	0,46	50	50			12 (1)	4 (2)
(1)	06 CPs para o ensaio de resistência à compressão axial						
(1)	06 CPs para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral						
(2)	04 CPs para o ensaio de resistência à tração na flexão						

Fonte: Acervo do Autor (2014)

4.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Água

A água utilizada na confecção dos concretos, argamassas e pastas foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro – Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE).

4.1.2 Cimento

Para produção das argamassas optou-se por utilizar o Cimento Portland Comum CII E – 32. A opção por este tipo de cimento foi feita devido à semelhança do presente estudo com um trabalho de pesquisa de doutorado de argamassas com agregado de resíduo cerâmico reciclado, que estava em andamento no laboratório. A utilização do mesmo tipo de cimento

possibilita uma futura comparação entre os estudos, considerando a diferença do tipo de resíduo reciclado utilizado.

4.1.3 Agregados graúdos reciclados

Os agregados utilizados neste estudo foram obtidos do descarte dos resíduos da construção do novo Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAMAC). A colocação do piso cerâmico gerou o resíduo de construção (RC), composto unicamente por resíduo cerâmico e a demolição da base de concreto da antiga máquina de ensaio de carregamento cíclico de elementos de concreto, que por sua vez, deu origem ao resíduo de demolição (RD), composto somente de resíduo de concreto, conforme apresentados nas figuras 13 e 14.

Figura 13 - Piso cerâmico – resíduo de construção



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 14 - Concreto – resíduo de demolição



Fonte: Acervo do Autor (2014)

4.1.4 Processo da produção dos agregados graúdos reciclados

Os agregados graúdos foram produzidos no laboratório de estrutura (LabEST-COPPE/UFRJ), após a coleta das amostras dos resíduos, onde não houve a necessidade de beneficiamento, por haver muito pouca quantidade de contaminantes, como papelão, vidros, gesso, madeira, plástico, terra, entre outros, provavelmente devido ao estágio de acabamento que a obra se encontrava. Foi utilizado o britador de mandíbulas, modelo Queixada 200, conforme a figura 15, para a britagem dos resíduos.

O equipamento foi regulado para produção de agregados graúdos, com dimensões médias da brita n.º1. O ajuste foi feito por tentativas sucessivas baseadas em análise tátil-visual dos agregados produzidos, concluída a calibração do equipamento, iniciou-se de fato a britagem dos resíduos, utilizando-se procedimentos diferentes para cada tipo de resíduo, como o descrito no quadro 17.

Quadro 17 – Tipos de resíduos e suas formas de produção

TIPO DE RESÍDUO	FORMA DE PRODUÇÃO
Resíduo de concreto	Os resíduos de demolição foram passados no triturador, tipo mandíbula - Queixada 200, conforme a figura 15, de uma única vez, obtendo-se o tamanho adequado do agregado, classificado como agregado graúdo. (ver figura 16).
Resíduo cerâmico	Diferentemente do processo para obtenção do agregado de concreto, a britagem do material cerâmico foi demasiadamente problemática, onde o material resultante era de tamanhos variados, conforme apresentado na figura 17. Os resíduos passavam pelo triturador sem serem triturados, mesmo a operação sendo repetida algumas vezes. Desta forma, optou-se pelo peneiramento dos materiais gerados após a primeira britagem, utilizando-se as peneiras 4,75 mm e a 19mm, de modo que os resíduos que ficaram retidos na peneira 19mm, foram recolocados no triturador, os materiais que passaram pela peneira 4,75 mm foram descartados e os que ficaram retidos entre as peneiras 19 mm e 4,75mm, foram selecionados para serem reciclados, conforme a figura 18.

Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 15 - Triturador tipo mandíbula



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 16 – Agregado graúdo após trituração dos blocos de concreto



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 17 – Material cerâmico com dimensões inadequadas para a pesquisa



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 18 – Material cerâmico selecionado



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Após o término da britagem, parte dos materiais foram ensacados para a realização da caracterização dos agregados reciclados de construção e de demolição e parte armazenados em recipientes de PVC de 200 litros, como matéria prima para a construção dos corpos de provas para os ensaios das propriedades mecânicas do concreto permeável, assim como para a moldagem das placas desse mesmo concreto.

4.2 PROPRIEDADES AVALIADAS DO CONCRETO

Foram avaliadas as propriedades do concreto permeável com agregado reciclado no estado fresco, onde foram estudadas a trabalhabilidade e o ar incorporado e no estado

endurecido, foram avaliadas a resistência à compressão axial, módulo de deformação, a resistência á tração por compressão diametral e a resistência á tração na flexão, através de ensaios dos corpos de prova, realizados nos Laboratórios da COPPE/UFRJ.

4.2.1 Teor de ar incorporado

No Brasil a ABNT - NBR NM 47/2002 – Concreto Fresco – Determinação do Teor de Ar incorporado ao concreto pelo Método Pressométrico, que é o ensaio utilizado para a determinação do ar incorporado e ou aprisionado no concreto. A figura 19 apresenta o aparelho utilizado para a medição do teor de ar no concreto, o qual consiste de um recipiente hermeticamente fechado, preenchido com concreto fresco. Através dos orifícios na tampa é injetado água e ar sob pressão para expulsar o ar contido no concreto fresco. O manômetro detecta a perda de pressão e indica o percentual equivalente na mistura

Figura 19 – Medidor de ar incorporado



Fonte: Acervo do autor (2014)

4.2.2 Trabalhabilidade

Dentro do programa experimental foi realizado o estudo da trabalhabilidade dos concretos reciclados. Foi estabelecido que não seriam utilizados plastificantes ou superplastificantes, para tentar produzir o concreto permeável com menor custo e para avaliar a trabalhabilidade do concreto sem a adição de aditivos. Para avaliar esta propriedade foi

utilizado a medida do abatimento do tronco de cone para as cinco misturas estabelecidas na matriz do experimento.

A trabalhabilidade dos concretos permeáveis produzidos foi determinada através da medida de abatimento do tronco de cone de acordo com a prescrição da NBR NM 67, conforme as figuras 20 e 21. Os agregados reciclados influenciaram por demais a trabalhabilidade do concreto, ora pela forma heterogênea, ora pela textura rugosa e preponderantemente pela absorção de água, conforme estudado no item 3.1.3, característica essa que resultam na redução de água livre e travamento nas misturas de concreto no seu estado fresco.

Figura 20 – Abatimento do concreto convencional, com agregados naturais



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 21 – Abatimento do concreto, com agregado reciclado de demolição



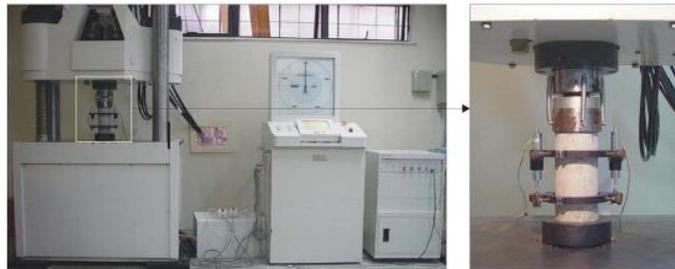
Fonte: Acervo do autor (2014)

4.2.3 Ensaio de resistência à compressão axial

A avaliação da resistência à compressão se deu através da ruptura de corpos de provas cilíndrico, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, em uma prensa servo-controlada Shimadzu, modelo UF-F 1000kNI (figura 22), conforme prescreve a NBR 5739/2007, com velocidade de carregamento de 0.0075 mm/min. As características de tensões versus deformações foram mensuradas através de sensores elétricos nos corpos de provas,

para medição dos deslocamentos longitudinais. Os corpos de provas possuíam superfícies superior e inferior irregulares, de tal forma, que prejudicaram a aplicação das cargas durante o ensaio, para solucionar esse problema, essas superfícies foram regularizadas, com uma camada de enxofre, conforme a figura 23.

Figura 22 – Servo-controlada Shimadzu, para a realização dos ensaios de resistência à compressão axial



Fonte: Cordeiro (2006)

Figura 23 – Capeamento das superfícies inferior e superior dos corpos de provas

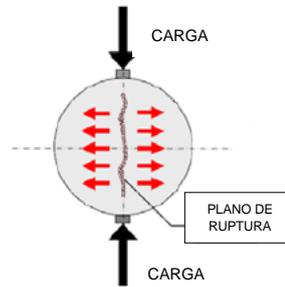


Fonte: Acervo do Autor (2014)

4.2.4 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Nos ensaios de resistência a tração por compressão diametral os corpos de provas de concreto foram submetidos à cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais que são diametralmente opostas. A carga é aplicada continuamente a uma velocidade constante dentro de uma faixa de 0,7 a 1,3 MPa, até a ruptura do corpo de prova, que segue representado na figura 24.

Figura 24 – Representação a resistência à tração por compressão diametral



Fonte: <http://academico.riogrande.ifrs.edu.br/~fabio.magalhaes>

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7222/2010 – Argamassas e Concreto: Determinação da resistência a tração por compressão diametral, para corpos de provas cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e com idade de 28 dias. Os ensaios foram executados na prensa Shimadzu, modelo UF-F 1000kNI. O ensaio foi realizado em 06 (seis) corpos de prova, para cada uma das 05 (cinco) misturas estabelecidas no projeto experimental. A figura 25 apresenta o corpo de prova de concreto permeável posicionado na prensa.

Figura 25– Corpo de prova posicionado na prensa, para realização do ensaio à compressão diametral.



Fonte: Acervo do Autor (2014)

4.2.5 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão do concreto pode ser determinada de duas formas distintas, dependendo do local onde ocorra a ruptura. A norma NBR 12142 (ABNT, 1991) estabelece duas equações para o cálculo da resistência, uma se o rompimento da superfície tracionada ocorrer no terço médio do comprimento do vão e outra se esse rompimento ocorrer fora do terço médio, porém menor ou igual a 5 % do comprimento do vão.

Os corpos de prova prismáticos foram marcados e ensaiados como prescreve a NBR 12142 /2010 – Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos – Método de ensaio, com dimensões de 10 cm x 10 cm x 40 cm, com idade de 28 dias, carregada a uma velocidade de 0,8 a 1,2 MPa/min. Este ensaio foi realizado na prensa Shimadzu, modelo UF-F 1000kNI, conforme a Figura 26 a) e 26 b).

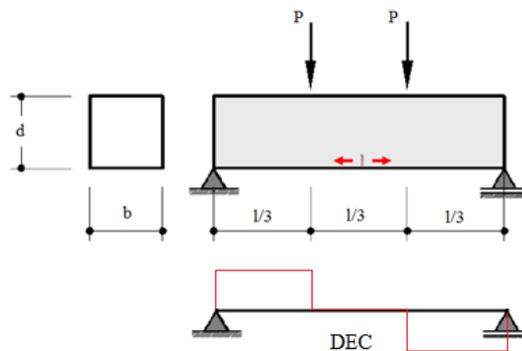
Figura 26 - a) Prensa Shimadzu, modelo UF-F 1000kNI. b) Posicionamento do corpo de provas, para o ensaio de tração



Fonte: Acervo do Autor (2014)

O ensaio consiste basicamente em aplicar duas cargas linearmente distribuídas nos terços médios de um prisma, de modo a provocar tração na face inferior do corpo de prova, esta face terá suas fibras tracionadas até a ruptura do concreto. Devido à forma de aplicação da carga de ruptura no elemento de concreto, o terço central da peça fica sob ação de flexão pura, não havendo efeitos de esforços cortantes, como pode ser observado através de diagrama de esforços solicitantes (figura 27).

Figura 27 – Diagrama do ensaio de tração na flexão segundo a NBR 12142



Fonte: ABNT – NBR 12142/2010

4.2.6 *Módulo de deformação ou elasticidade*

O módulo de elasticidade é um parâmetro numérico relativo à medida da deformação que o concreto sofre sob a ação de tensões, geralmente tensões de compressão. O módulo de elasticidade depende muito das características e dos materiais componentes dos concretos, como o tipo de agregado, da pasta de cimento e a zona de transição entre a argamassa e os agregados.

O módulo de elasticidade é definido como sendo a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado, o limite utilizado neste estudo, para esse cálculo, foi entre 0,5 MPa e 0,4 f_c , onde f_c é tensão máxima aplicada no ensaio.

4.3 **METODOLOGIA DE PRODUÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO**

4.3.1 *Dosagem do concreto*

Realizando a pesquisa bibliográfica, foi constatada a existência de diversos procedimentos e métodos para o cálculo das dosagens de concreto, através de abordagens matemáticas e de métodos empíricos. São apresentadas na tabela 10, as faixas típicas de consumo e proporções de materiais utilizados nas misturas de concreto permeável.

Tabela 10 - Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável

MATERIAIS	CONSUMO/PROPORÇÃO
Ligante hidráulico (kg/m³)	270 - 415
Agregado graúdo (kg/m³)	1.190 - 1.700
Relação água/cimento (a/c) em massa	0,27 - 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 - 1:4,5
Relação agreg. miúdo/agreg. graúdo em massa	0 - 1:1

Fonte: Duarte e Kronka (2006)

O consumo dos materiais empregados nesta pesquisa está na tabela 11, onde se optou aplicar valores próximos às médias dos intervalos das faixas típicas pesquisadas, exceto os agregados miúdos, que não foram utilizados, ou seja, as misturas de concreto permeável serão compostas apenas por agregados graúdos.

Tabela 11 – Consumo do cimento, água e agregados utilizados

MISTURA	CIMENTO (kg/m ³)	ÁGUA (kg/m ³)	AGREGADO GRAÚDO CONST. (kg/m ³)	AGREGADO GRAÚDO DEM. (kg/m ³)	AGREGADO GRAÚDO NAT. (kg/m ³)	AGREGADO MIÚDO NAT. (kg/m ³)
Convencional	300	150			1200	1200
Agregado graúdo natural brita 1 Permeável	300	111			1200	
Agregado graúdo de demolição (100%)	300	117		1200		
Agregado graúdo de construção (100%)	300	144	1200			
Agregado graúdo de construção (50%) e de demolição (50%)	300	138	600	600		

LEGENDA: CONST = Construção; DEM = Demolição; NAT = Natural

Fonte: Acervo do Autor (2014)

4.3.2 Caracterização dos agregados utilizados

Os agregados utilizados nesta pesquisa, ver figura 28, foram caracterizados segundo as Normas Brasileiras, nos Laboratórios da Indústria de Cimento Holcim, fabricante de cimento, situada no Município do Rio de Janeiro, onde foram determinados o módulo de finura, dimensão máxima, massa específica, massa unitária seca, massa unitária úmida, taxa de absorção, materiais pulverulentos, e impurezas orgânicas e a composição granulométrica, que seguem relacionados na tabela 12.

Figura 28 – Agregados para caracterização no laboratório da Cimento Holcim



Fonte: Acervo do Autor (20114)

Tabela 12 – Caracterização dos agregados graúdos reciclados

AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO			
PROPRIEDADE	NORMAS	CONCRETO	CÊRAMICA
Módulo de finura	NBR NM 248	6,37	6,00
Dimensão máxima	NBR NM 248	19 mm	19 mm
Massa específica	NBR NM 53	2,31 kg/dm ³	2,37 kg/dm ³
Massa untitária seca	NBR 7251	1,28 kg/dm ³	1,25 kg/dm ³
Material pulverulento	NBR NM 46	4,08%	0,88%
Absorção	NBR NM 52/53	7,37%	6,82%

Fonte: Laboratório da Holcim (2013)

O estudo da composição granulométrica foi realizado dentro dos procedimentos da NBR 7217(1987). A Tabela 13 apresenta o resultado da composição granulométrica dos agregados graúdos reciclados da construção e demolição, que foram obtidos e utilizados neste estudo.

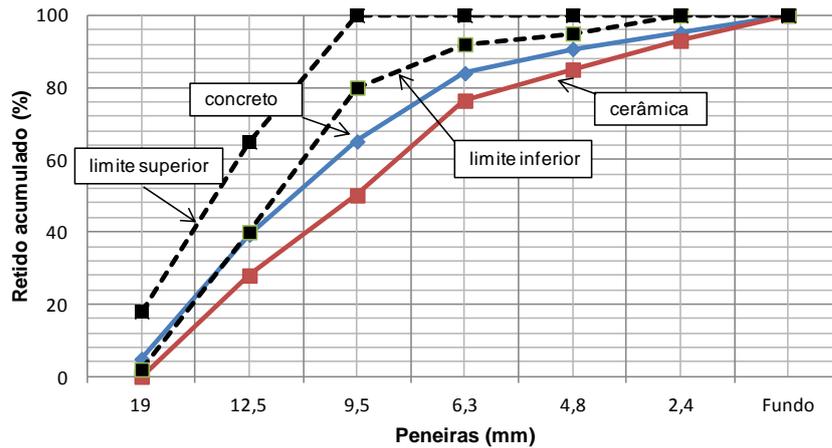
Tabela 13 – Composição granulométrica dos agregados graúdos reciclados

AGREGADO GRAÚDO RECICLADO - CONCRETO			AGREGADO GRAÚDO RECICLADO - CERÂMICO		
Peneiras	% Retidos	% Retido acumulado	Peneiras	% Retidos	% Retido acumulado
19	4,90	4,90	19	0,00	0
12,5	34,40	39,30	12,5	28,00	28,00
9,5	25,80	65,10	9,5	22,20	50,20
6,3	18,90	84,00	6,3	26,20	76,40
4,8	6,70	90,70	4,8	8,60	85,00
2,4	4,40	95,10	2,4	8,00	93,00
Fundo	4,90	100	Fundo	7,00	100,00

Fonte: Laboratório da Holcim (2013)

Analisando o gráfico com as curvas granulométricas para os agregados graúdos reciclados, apresentadas na Figura 29, pode-se informar que apresentaram as distribuições granulométrica dos agregados reciclados semelhante entre si, com maior parte dos materiais retidos nas peneiras de malhas # 9,5 mm e 12,5 mm, para os agregados reciclados de resíduos de concreto e malhas # 6,3 mm e 12,5 mm, para os agregados reciclados de resíduos cerâmicos.

Figura 29 - Curvas granulométricas dos agregados reciclados



Fonte: Acervo do Autor (2014)

As curvas granulométricas dos agregados reciclados neste estudo, representadas na figura 29, demonstram que nenhuns dos agregados reciclados estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211/2009, para composição do agregado de graduação para brita n.º1, para produção de concreto permeável. Mesmo assim os agregados foram utilizados sem

correções, pois a finalidade era aplicar os agregados no estado em que ele era produzido, com o mínimo de beneficiamento possível, decisão esta baseado no estudo de Leite (2001).

4.3.3 *Mistura dos materiais*

Segundo Leite, 2001, alguns aspectos devem ser observados quando se utiliza agregado reciclado. Primeiro, na produção de concretos com altos percentuais de substituição, tanto do agregado graúdo, quanto do miúdo, ocorre a necessidade da utilização de aditivo superplastificante para minimizar o efeito da textura rugosa dos agregados e ainda da sua alta taxa de absorção, o segundo aspecto relaciona-se com a taxa de absorção de água dos agregados. Nesta pesquisa não foi utilizado aditivo superplastificante, mas a absorção de água foi parcialmente compensada, com a pré-umidificação dos agregados, em 40% da taxa de absorção do agregado graúdo reciclado, baseado na pesquisa de Leite 2001.

Schaefer et all. (2006) estudaram diferentes processos de mistura para confecção de corpos de prova de concreto permeável em laboratório. Os autores concluíram que a ordem de mistura dos componentes altera as características do produto final e estabeleceram então um procedimento pelo qual foi obtido um material com melhores propriedades mecânicas e hidráulicas. O procedimento adotado na presente pesquisa segue apresentado no quadro 18.

Quadro 18 – Quadro da sequência da mistura dos componentes do concreto

ITEM	SEQUÊNCIA DA MISTURA DOS COMPONENTES DO CONCRETO
1	Adicionar todo o agregado graúdo
2	Adicionar 40% de água da taxa média de absorção do agregado, misturar por 01 minuto, findo este tempo aguardar 10 minutos.
3	Adicionar o cimento e misturar por mais 01 minuto.
4	Adicionar os 60% restantes da água e misturar por mais 03 minutos. A mistura está pronta para moldar os corpos de provas, estabelecido no Estudo Experimental (figura 30).

Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 30 - Concreto fresco com agregado reciclado



Fonte: Acervo do autor (2014)

4.3.4 *Moldagem dos corpos de prova das misturas com agregado reciclado*

As moldagens ocorreram no Laboratório de Estrutura da COPPE/UFRJ, onde foram confeccionados 12 (doze) corpos de prova cilíndricos de 10cm x 20cm e 04 (quatro) corpos de provas prismáticos de 10 x 10 x 40 x cm, para cada uma das 05 (cinco) misturas, de acordo com o programa experimental, representados na figura 31 a). Foram utilizados moldes com essas dimensões por estarem disponíveis na ocasião da realização ensaios e dentro da norma brasileira específica. Os corpos de provas foram moldados de acordo com a NBR 5738/84 – Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos e prismáticos. (figura 31 b); c))

O adensamento do concreto foi realizado através de 15 golpes com a haste de socamento padronizada (barra de aço de 600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro), em cada uma das três camadas dos corpos de provas e a mesa vibratória não foi utilizada, para não haver perda de aglomerante do concreto através da base dos corpos de provas.

Figura 31- a) Moldagem dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos. b) Corpo de prova prismático



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 31- c) Corpo de prova cilíndrico



c)

Fonte: Acervo do autor (2014)

Os corpos de provas foram desformados 72 horas após sua moldagem e colocados em câmara úmida por 28 dias, para realização do processo de cura do concreto (figura 32).

Figura 32 – Cura dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos em câmara úmida



Fonte: Acervo do Autor, (2014)

4.4 MOLDAGEM DAS PLACAS DE CONCRETO PERMEÁVEL RECICLADO

Após a moldagem dos corpos de provas, passou-se a etapa da moldagem das placas de concreto permeável, produzidas com agregados reciclados estudados. A dosagem e os traços do concreto foram os mesmos estabelecidos, para cada uma das cinco misturas utilizadas para a moldagem dos corpos de provas, exposto no item 4.3.1- Dosagem do concreto.

As placas de concreto reciclado foram moldados no Laboratório de Estrutura da COPPE/UFRJ, em oito formas quadradas de PVC, com 45 cm por 45 cm e 5 cm de espessura, conforme a figura 33 a); b), para cada uma das cinco misturas de concreto reciclado

estabelecidas, ficando em processo de cura por 28 dias, em câmara úmida, demonstrada na figura 34 a); b).

Figura 33 – a);b) - Moldes de PVC para produção das placas de concreto reciclado, compostas das 05 misturas pesquisadas



Figura 34 –a);b) - Cura das placas de concreto reciclado, compostas das 05 misturas pesquisadas



Fonte: Acervo do Autor (2014)

As placas de concreto permeável e convencional produzidas, passaram pelo processo de cura e estão prontas para serem assentadas sobre as camadas de base e sub-base de solos permeáveis, nos cinco compartimentos construídos no laboratório do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CESA/UFRJ), conforme a figura 35, para a realização de testes de permeabilidade das placas de concreto e suas camadas de suporte, através de simulações de chuvas pré-determinadas, geradas por um simulador, representado na figura 36, onde poderá ser estudado o comportamento do concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição desta pesquisa, como revestimento permeável de piso, analisando sua eficiência na retenção de chuvas e se sua aplicação pode ser viável tecnicamente, em ambiente urbano.

Figura 35 – Local para assentamento das placas de concreto reciclado, para teste de permeabilidade - CESA/UFRJ



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Figura 36 - Simulador de chuva – CESA/UFRJ



Fonte: Acervo do Autor (2014)

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

5.1 CONCRETO FRESCO

5.1.1 *Ar incorporado ao concreto*

O teor de ar é calculado pela diferença entre o volume real de concreto (volume considerando ar) e o volume teórico (sem considerar o ar e calculado com base nas massas específicas dos componentes), expresso em porcentagem do volume real. A precisão do valor obtido irá depender da precisão dos valores de massa específica dos componentes.

Após pesquisa realizada na literatura técnica, não foram encontrados parâmetros e efeitos sobre o teor de ar incorporado ao concreto permeável, composto com agregados graúdos reciclados, portanto, as considerações a seguir mencionadas, foram baseadas no estudo de Neville (1997), para concreto convencional.

De acordo com a bibliografia existente, foi verificado no estudo de Batezini (2013) e Levy (2001), onde observaram que as misturas de concreto composto de agregados reciclados, adotam a aplicação de aditivos plastificantes ou superplastificantes, aumentando a teor de ar incorporado ao concreto, mas obtendo melhoria na trabalhabilidade e adensamento da mistura. Uma das premissas deste estudo, foi não utilizar aditivos, para que fosse estudado o comportamento do concreto, referente à trabalhabilidade e adensamento.

Os ensaios nos corpos de provas, para determinação do teor de ar incorporado ao concreto permeável, foram realizados conforme prescrito na NBR NM 47/2002 e os respectivos resultados seguem relacionados na tabela 14.

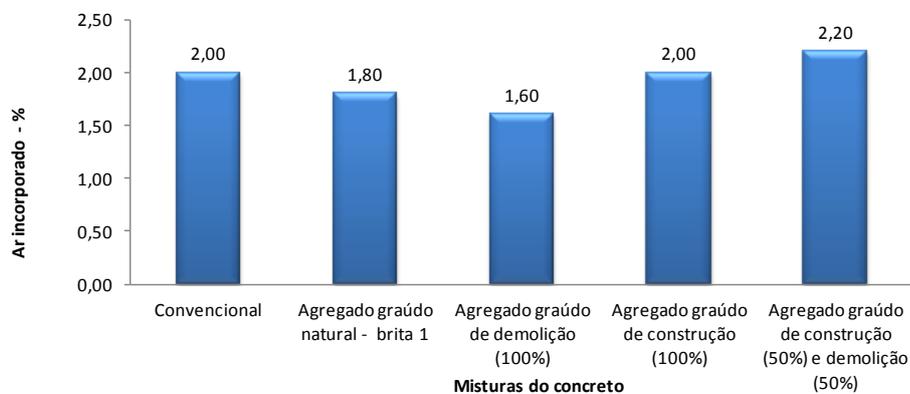
Tabela 14 – Resultados do ensaio do teor de ar incorporado ao concreto

Misturas do Concreto	Ar incorporado ao concreto (%)
Convencional	2,00
Agregado graúdo natural - brita 1	1,80
Agregado graúdo de demolição (100%)	1,60
Agregado graúdo de construção (100%)	2,00
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	2,20

Fonte: Acervo do Autor (2014)

Observando-se a tabela 14 e o gráfico com os resultados do referido ensaio, aqui apresentados, ver na figura 37, pode-se informar que os valores encontrados ficaram muito próximos das misturas do concreto convencional e do concreto permeável com agregado natural (brita n.º 1), com uma variação média, para mais ou para menos, pouco maior que 10% e esses valores estão abaixo do limite máximo de 3% de ar incorporado ao concreto convencional (Neville, 1997). Valores acima deste limite, previsto na dosagem do material indicam que poderá ocorrer redução na resistência à compressão e no módulo de elasticidade ou então, perda da qualidade no acabamento da superfície do concreto, com o surgimento de macro bolhas superficiais.

Figura 37 - Gráfico do resultado dos ensaios de teor de ar incorporado ao concreto



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Segundo Neville (1997), um dos efeitos mais importantes do teor de ar incorporado ao concreto é o efeito dos vazios sobre a resistência do concreto em qualquer idade. Deve-se lembrar que a resistência do concreto é função direta da compactidade (massa específica) e os vazios. Apesar das misturas de concreto aqui estudadas possuírem uma grande quantidade de vazios, o resultado do ensaio de ar incorporado ao concreto demonstrou que essa propriedade do concreto no estado fresco, pouco contribuiu para a redução de sua resistência.

5.1.2 *Trabalhabilidade*

Os valores das medidas dos abatimentos de tronco de cone das misturas de concreto realizados nesta pesquisa, definidas no estudo experimental, encontram-se na tabela 15. Observa-se que o ensaio de abatimento do tronco de cone apresentou uma variação muito grande, mesmo após ter sido compensado parte da água de absorção dos agregados. Entretanto, outros fatores além da alta absorção dos agregados reciclados podem também influenciar no valor da consistência do concreto, como por exemplo, sua forma heterogênea e angular e sua textura rugosa, características que causam uma redução na água livre e maior travamento nas misturas de concreto no estado fresco, além de sua massa específica inferior (LEVY, 1997; HENDRIKS e PIETERSEN, 1998; DE LARRARD, 1999, apud por CARRIJO, 2005).

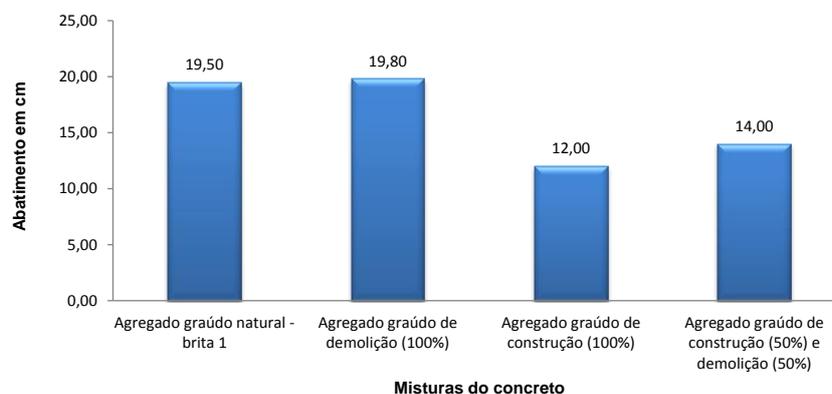
Tabela 15 – Medida do abatimento do tronco de cone das misturas de concreto

Misturas do Concreto Permeável	Medida do abatimento do tronco de cone (cm)
Agregado graúdo natural - brita 1	19,50
Agregado graúdo de demolição (100%)	19,80
Agregado graúdo de construção (100%)	12,00
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	14,00

Fonte: Acervo do Autor, 2014

Foram realizadas as medições dos abatimentos do tronco de cone, representadas no gráfico através da figura 38, onde se observou alguns aspectos importantes, que seguem relacionados a seguir.

Figura 38 - Medida do abatimento do tronco de cone das misturas de concreto



Fonte: Acervo do Autor (2014)

O teor de substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado teve efeito significativo sobre o abatimento do concreto permeável, onde foi verificada uma variação muito grande entre as misturas. Comparando os abatimentos dos concretos com agregados reciclados com o concreto convencional, verificou-se que a menor diferença

ocorreu no concreto com 100% de agregado reciclado do resíduo de construção, chegando a 118% maior,

no entanto, a maior diferença ocorreu no concreto com 100% de agregado reciclado de resíduo de demolição, alcançando 260%.

Segundo Neville (1997), os agregados reciclados, por serem mais porosos, incorpora uma maior quantidade de ar às misturas e, apesar da maior aspereza conferida ao concreto, e das propriedades físicas dos agregados, que favorecem o travamento das misturas e a redução do valor do abatimento, estas se apresentam mais trabalháveis, pois quanto maior a quantidade de ar aprisionado, menor é a resistência ao adensamento.

Segundo Leite (2001) pode ser considerado que, independente dos valores de abatimento obtidos para os concretos com agregados reciclados, na verdade, a maior ou menor facilidade com que os mesmos podem ser adensados é que pode ser considerado como parâmetro para limitar seu uso.

Baseado nos estudos aqui citados verifica-se que a porosidade dos agregados graúdos reciclados, sua forma heterogênea e angular, são as propriedades que mais podem influenciar nas características do concreto no seu estado fresco.

Baseado no estudo de Leite (2001) e nos resultados obtidos no ensaio de abatimento de cone, para as misturas de concreto estudadas, alguns procedimentos podem minimizar os efeitos negativos dos agregados reciclados sobre a consistência do concreto, que seguem relacionados no quadro 19.

Quadro 19 - Alguns procedimentos para minimizar os efeitos negativos dos agregados reciclados sobre a consistência

ITEM	ALGUNS PROCEDIMENTOS PARA MINIMIZAR OS EFEITOS DOS AGREGADOS RECICLADOS SOBRE A CONSISTÊNCIA DO CONCRETO
1	Aumento da quantidade de água no traço em um valor igual à parte da absorção total do agregado, ou pré-umidificação do mesmo, antes de iniciar a mistura
2	Aumento do consumo de cimento, resultando na modificação do fator a/c
3	Uso de aditivos (plastificante ou superplastificantes) ou aumento da sua dosagem
4	Uso de agregados graúdos menos porosos, ou seja, mais densos, com menor absorção de água

Fonte: Leite (2001), adaptado pelo Autor (2014)

5.2 CONCRETO ENDURECIDO

As propriedades mecânicas dizem respeito ao potencial do concreto permeável de resistir aos esforços que a ele for solicitado. Dentre as propriedades analisadas, a resistência à compressão é mais utilizada em todas as frentes de estudos, dada a relativa facilidade de realização dos ensaios. Porém, propriedades como módulo de elasticidade e resistência à flexão devem ser igualmente estudadas, Neville (1997), algumas dessas propriedades foram analisadas nesta pesquisa, descritas a seguir.

5.2.1 *Resistência à compressão axial*

A resistência à compressão axial do concreto é uma das propriedades mais importantes quando se avalia o desempenho de uma estrutura. A resistência está ligada à capacidade dos materiais de resistir a tensões sem que haja ruptura. De uma forma ampla, a resistência está intimamente relacionada à porosidade dos materiais. Quanto mais porosos estes se apresentam, menor tende a ser sua resistência. No concreto, além da porosidade da matriz de cimento e do agregado graúdo, deve ser considerada a porosidade da zona de transição entre a matriz e o agregado. No estudo da resistência do concreto com agregados naturais, geralmente o uso de agregados densos e resistentes fazem com que esta propriedade seja influenciada basicamente pela porosidade da matriz e da zona de transição. Contudo, quando se estuda a resistência de concretos com material reciclado, acredita-se que a porosidade do agregado passe a ter um papel importante na determinação da resistência do concreto. NEVILLE (1997)

Segundo Muhammad et all (2013), que comparam em seu estudo experimental a resistência à compressão do concreto permeável, composto de agregados reciclados com concreto permeável composto com agregados naturais, constatam que a referida resistência diminui de forma direta em relação à quantidade de vazios do concreto, provavelmente, devido parte à redução da interface do cimento e o agregado reciclado e parte pelo aumento da quantidade de vazios do concreto.

A resistência à compressão axial é calculada pela equação 1

$$f_c = \frac{4.F}{\pi .d^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

f_c = resistência à compressão. (MPa)

F = carga máxima obtida no ensaio. (N)

d = diâmetro do corpo de prova. (mm)

Os ensaios dos corpos de provas foram realizados conforme estabelece a NBR 5739/2007 e os resultados obtidos estão relacionados na tabela 16.

Tabela 16 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Misturas do Concreto Permeável	Resistência à compressão axial (MPa)
Agregado graúdo natural - brita 1	10,72
Agregado graúdo de demolição (100%)	7,05
Agregado graúdo de construção (100%)	8,74
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	7,85

Fonte: Acervo do Autor (2014)

Analisando-se o gráfico, representado na figura 39, verifica-se que os resultados de resistência à compressão encontram-se dentro dos limites, inferior e superior, da faixa de valores verificados por Neville (1997), onde a resistência à compressão de concretos permeáveis com agregados graúdos naturais varia de 7 a 14 MPa. Nota-se que as misturas de concreto reciclados, em geral, apresentaram resistência à compressão próximas das dos seus respectivos concretos de referência. Os casos onde aconteceram reduções acentuadas

evidenciam a influência negativa da porosidade dos agregados de RCD graúdos sobre sua própria resistência e sobre a resistência do concreto.

Figura 39 – Gráfico dos resultados dos ensaios à compressão axial



Fonte: Acervo do Autor, 2014

Ao observar a Figura 40, vislumbra-se que as misturas de concreto compostas de agregados recicláveis, tanto a substituição de 50%, como a de 100% de agregados, tiveram sua resistência à compressão axial em torno de 26% menor que a mistura do concreto com brita n.º 1.

Pesquisando a bibliografia existente, verificou-se que em alguns estudos, os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial tiveram aumento significativo, devido à utilização de aditivos, como por exemplo; o estudo experimental de Muhammad et al (2013), onde as misturas de concreto, compostas com agregados convencional, aditivadas com polímeros em 3% e 5% (polímero/cimento), alcançaram resultados 26% e 57% maiores e 47% e 79% para o concreto permeável composto de agregados reciclados. Houve também aumento na resistência à compressão nas misturas de concreto permeável, aditivadas com látex em 3% e 5% (látex/cimento), de 19% e 47% para o concreto permeável produzido com agregado natural e 43% e 68% para concreto permeável composto de agregados reciclados.

5.2.2 Resistência à tração na compressão diametral

As resistências à tração por compressão diametral obtidas foram comparadas com concreto convencional e com o concreto permeável com agregado graúdo natural (brita 1). Os

valores de compressão diametral ($f_{t,D}$), encontrados através do ensaio descrito na NBR 7222/2011, aos 28 dias de cura e estão na tabela 17.

Tabela 17 – Resultado dos ensaios à tração por compressão diametral

Misturas do Concreto Permeável	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)
Agregado graúdo natural - brita 1	1,63
Agregado graúdo de demolição (100%)	1,79
Agregado graúdo de construção (100%)	1,76
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	1,79

Fonte: Acervo do Autor (2014)

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela equação 2.

$$f_{t,D} = \frac{2.F}{\pi .d .l} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$f_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa), com aproximação de 0,05.

F = carga máxima obtida no ensaio.

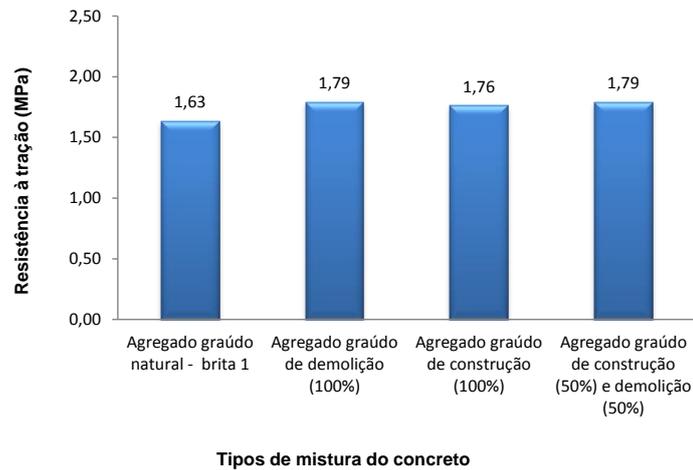
d = diâmetro do corpo de prova.

l = altura do corpo de prova

Analisando-se o gráfico, representado na figura 40, verificou-se que em todas as misturas de concreto permeável tiveram tensões menores que o concreto convencional. Os resultados das misturas com agregados reciclados ficaram pouco maior, mas muito próximo do resultado da mistura com agregado natural, em torno de 8%, mesmo com fatores de água/cimento distintos, ou seja, este fator não alterou a resistência à tração por compressão

diametral, acreditando-se que a forma angular e lamelar, assim como a superfície rugosa dos agregados tenham contribuído para este resultado.

Figura 40 – Gráfico do resultado dos ensaios à tração por compressão diametral



Fonte: Acervo do Autor (2014)

5.2.3 Resistência à tração na flexão

O método para a determinação da resistência à tração na flexão do concreto consiste em romper corpos de prova prismáticos moldados de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2008). A norma brasileira NBR 12142/2010 determina o procedimento de ensaio de tração na flexão, que consiste na aplicação de cargas progressivamente, flexionando os corpos de provas, conforme a figura 41, onde parte dela é comprimida e parte é tracionada.

Figura 41 – Posicionamento do corpo de provas, para o ensaio de tração na flexão



Fonte: Acervo do autor (2014)

Os resultados encontrados após os rompimentos dos corpos de prova, com 28 dias de cura, estão relacionados na tabela 18.

O ensaio do concreto convencional não foi apresentado, por ter havido perda significativa na aquisição dos seus dados.

Tabela 18 – Resultado dos ensaios à tração na flexão

Misturas do Concreto Permeável	Resistência à tração na flexão (MPa)
Agregado graúdo natural - brita 1	2,40
Agregado graúdo de demolição (100%)	2,44
Agregado graúdo de construção (100%)	1,86
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	1,79

Fonte: Acervo do Autor (2014)

A resistência à tração na flexão do concreto permeável (f_{ctM}) pode ser determinada de duas formas distintas, dependendo do local onde ocorra a ruptura. A norma NBR 12142 (ABNT, 1991) estabelece duas equações para o cálculo da resistência, uma se o rompimento da superfície tracionada ocorrer no terço médio do comprimento do vão e outra se esse rompimento ocorrer fora do terço médio, porém menor ou igual a 5 % do comprimento do vão. As superfícies tracionadas dos corpos de prova testados neste estudo romperam-se no terço médio, por isso as resistências foram calculadas através da equação 3, conforme abaixo.

$$f_{ctM} = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

f_{ctM} = resistência à tração por flexão (MPa).

P = carga máxima obtida no ensaio (N).

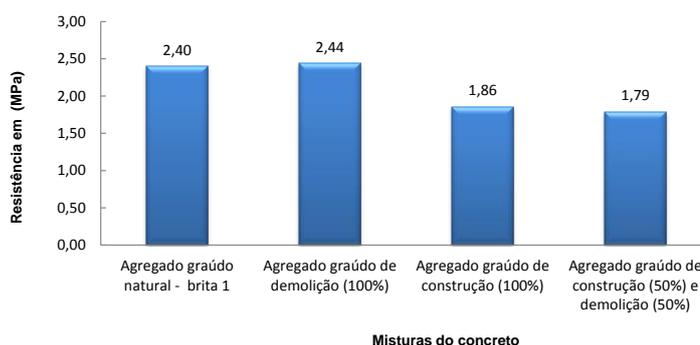
L = comprimento do vão (mm).

b = largura do corpo de prova (mm).

d = altura do corpo de prova (mm).

Baseado nos resultados deste estudo, relacionados na figura 42, segue alguns aspectos importantes sobre a resistência à tração na flexão das misturas de concretos constituídos de agregados reciclados.

Figura 42 - Gráfico do resultado dos ensaios de resistência à tração na flexão



Fonte: Acervo do Autor (2014)

Os resultados tenderam ser maiores, quanto menor foram os fatores água/cimento. As misturas de concreto com agregados de demolição e com brita n.º 1, tiveram os resultados à resistência a tração na flexão maiores, em torno de 25%, que os resultados das misturas com agregados 100% de construção e a mistura com 50% de agregados de demolição e 50% de construção.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão desta pesquisa alcançaram valores mais altos nas misturas de concreto permeável com 100% de agregado natural e de 100% de agregado reciclado de construção, 2,40 MPa e 2,44 MPa respectivamente, provavelmente devido a forma cúbica e textura superficial rugosa destes agregados, conclusão baseada no estudo de Neville (1997), onde infere que a forma e a textura superficial dos agregados exercem considerável influência na resistência do concreto.

5.2.4 Módulo de elasticidade

Os módulos de elasticidade (E_c) encontrados aos 28 dias de cura, foram comparados com o concreto permeável, com agregado graúdo natural (brita1) e seguem expostos na Tabela 19.

Tabela 19 – Módulo de elasticidade

Misturas do Concreto Permeável	Módulo de Elasticidade (GPa)
Agregado graúdo natural - brita 1	12,61
Agregado graúdo de demolição (100%)	9,46
Agregado graúdo de construção (100%)	11,94
Agregado graúdo de construção (50%) e demolição (50%)	10,19

Fonte: Acervo do Autor (2014)

O módulo de elasticidade foi calculado pela equação 4, que segue abaixo.

$$E_c = \frac{\sigma_b^{-0,5}}{\epsilon_b - \epsilon_a} 10^{-3} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

E_c = módulo de elasticidade (GPa).

σ_b = a tensão maior, em MPa ($\sigma_b = 0,4f_c$).

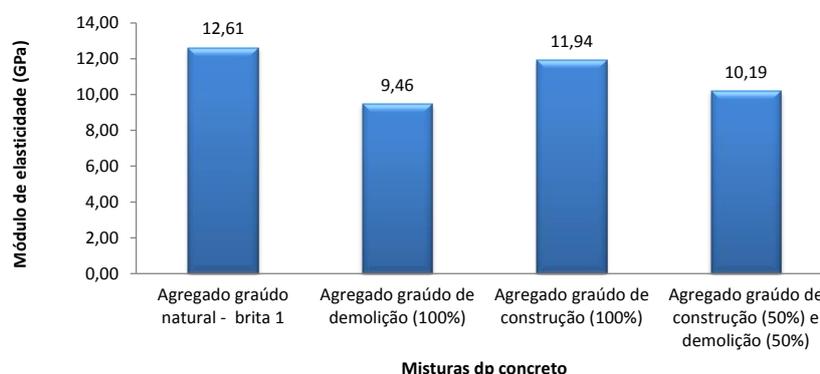
0,5 = a tensão básica em MPa.

ϵ_b = deformação específica média, sob a tensão maior (mm)

ϵ_a = deformação específica média, sob a tensão básica de 0,5MPa (mm)

Observando-se o gráfico representado na figura 43, constata-se que todas as misturas de concreto permeável com agregados graúdos reciclados, tiveram módulos de elasticidade menores que os das misturas do concreto permeável, composto de agregados naturais.

Figura 43 - Gráfico do resultado do ensaio – Módulo de Elasticidade



Fonte: Acervo do Autor (2014)

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), quanto maior a quantidade de agregados densos numa mistura de concreto, maiores são os valores de módulo obtidos. Assim, a afirmação de que o aumento da quantidade de agregados porosos nas misturas de concreto diminui o módulo de elasticidade, também é válida. Acredita-se ser esta uma das características do concreto com agregados graúdos reciclados, onde a diminuição do módulo de elasticidade ocorre à medida que se substitui o tipo de RCD, sendo que o de resíduo de concreto apresenta-se mais poroso do que o de cerâmica (ver tabela 19).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre concreto reciclado, esta pesquisa buscou avaliar o comportamento desse concreto, produzido com diferentes quantidades de agregados graúdos, oriundos da reciclagem de resíduos de construção e demolição, assim como também, avaliando algumas propriedades físicas desse tipo de concreto.

Foi estudada a utilização dos agregados graúdos reciclados em substituição aos agregados naturais, em cinco misturas diferentes; (I) 100% de agregado graúdo natural - AGN, (II) 100% agregado graúdo de resíduo de demolição – AGD, (III) 100% de agregado graúdo de resíduo de construção – AGC, (IV) 50% de AGN e 50% de AGD, (V) REF - agregado miúdo e graúdo natural. Para essas misturas, foi avaliada a influência de sua composição sobre as propriedades do concreto no seu estado fresco – teor de ar incorporado e trabalhabilidade – e no seu estado endurecido – resistência à compressão axial – resistência à tração por compressão diametral – resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade das misturas de concreto.

Seguem nos parágrafos seguintes algumas considerações finais acerca do estudo experimental desta pesquisa.

As taxas de absorção dos agregados graúdo de construção e de demolição foram altas, 6,82 % e 7,37% respectivamente, por isso, houve a necessidade de compensá-las durante a produção das misturas de concreto permeável, para evitar a redução de água livre, onde o adensamento e trabalhabilidade da mistura poderiam ser comprometidas.

A alta absorção dos agregados reciclados não precisou ser compensada na sua totalidade, sendo necessário apenas adequar a quantidade de água entre 40 e 50% da taxa de absorção dos agregados. O intervalo de tempo suficiente para esta compensação, deverá ser determinado pela curva de absorção dos agregados reciclados empregados. Neste estudo, os agregados reciclados foram pré umidificados 10 minutos, antes do processo de produção das misturas de concreto.

Os corpos de provas e as placas de concreto permeável foram moldadas de forma satisfatória, demonstrando que a trabalhabilidade das misturas de concreto foi adequada, mesmo sem a utilização de aditivos plastificantes ou superplastificantes e com o aumento do fator água/cimento, a trabalhabilidade das misturas de concreto estudadas, demonstram ser fáceis de serem moldadas.

A porosidade dos agregados reciclados e o fator água/cimento impactam negativamente as resistências do concreto permeável reciclado, diminuindo consideravelmente as resistências à compressão, à tração e o módulo de elasticidade.

Os concretos permeáveis reciclados apresentaram redução na relação entre a resistência á tração e a resistência á compressão, fato idêntico ao concreto convencional, mas a redução nesta relação é maior nos concretos permeáveis reciclados.

O teor de ar incorporado ao concreto permeável reciclado encontrado foi em média 2%, demonstrando que essa característica deste concreto, não contribuiu para a redução da resistência do concreto reciclado.

De acordo com os resultados obtidos, em comparação com o concreto convencional, podemos considerar que as misturas de concreto permeável compostas somente de agregados graúdos, influenciaram negativamente as propriedades mecânicas desses concretos, principalmente a resistência á compressão, à tração e o módulo de elasticidade.

Algumas limitações, dificuldades e dúvidas foram observadas no transcorrer desta pesquisa, mas como o assunto é vasto, fazem-se necessárias algumas sugestões para pesquisas científicas futuras, que estão relacionadas no quadro 20.

Quadro 20 – Sugestões para trabalhos futuros

ITEM	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS
1	Realizar estudo mais detalhado, sobre os procedimentos de medição da trabalhabilidade do concreto reciclados.
2	Realizar levantamento do custo do uso do agregado reciclado, para produção de concreto reciclado, referente às várias etapas do processo de produção, especialmente ao gerenciamento dos resíduos, implantação de programas de reciclagem dos resíduos de construção e demolição.
3	Aprofundar o estudo sobre a influência da não utilização de aditivos plastificantes ou superplastificantes, sobre os custos de produção e principalmente sobre as resistências mecânicas do concreto reciclado.
4	Realizar estudo sobre o comportamento das resistências à compressão e à tração, assim como a resistência ao desgaste e durabilidade das placas de concreto, compostos de agregados reciclados de construção e demolição, quando aplicados como revestimento de pisos, em ambientes urbanos.
5	Realizar estudos e testes específicos de permeabilidade das placas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e de demolição, para avaliar a viabilidade de sua aplicação como pavimentação permeável.
6	Avaliar os efeitos e resultados das placas de concreto permeável, produzidas com RCD, quando utilizadas como medida compensatório para mitigar os problemas decorrente da drenagem urbana.

Fonte: Acervo do Autor (2014)

7 BIBLIOGRAFIA

ACIOLI, L, A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do escoamento Superficial na Fonte**. Dissertação (Mestrado) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2005. 10 – 31.

ALAVEDRA, P.; DOMÍNGUEZ, J.; GONZALO, E. et al. **La construcción sostenible. El estado de la cuestión**. Informes de la Construcción, v.49, nº 451, p.41-47, 1997.

ALTHEMAN, D. **Avaliação da Durabilidade de Concretos Confeccionados com Entulho de Construção Civil**. Campinas, 2002. 102 f. Relatório (Iniciação Científica) – Universidade de Campinas.

ANDOH, R. Y. G. (2002). “Urban drainage and wastewater treatment for 21st century.” In: Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon, EUA. Meio ótico em CD.

ÂNGULO, S. C. et al. **Utilização de Pilhas de Homogeneização para Controle de Agregados Miúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados** In: CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável, 2001, Lisboa. Anais... Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001. p. 713- 720.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos**. São Paulo, 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ARAÚJO, P.R ; TUCCI, C.E.M ; GOLDENFUM, J.A. **Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS - Porto Alegre – RS, 2000; p 21-22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE – **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2012**, p 83-84.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterro – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15.114**: Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ALVES, L.A. **Influência de agregados miúdos reciclados de argamassa no comportamento mecânico de argamassas de cimento Portland.** Rio de Janeiro, 2012. Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil – UFRJ. P 22 – 26.

BALLISTA, L. P. Z.; MACHADO Jr., E. F. **Concreto com agregado reciclado modificado com látex estireno-butadieno. Determinação da condição ótima de cura.** In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta del Este, Uruguai. Memórias... [CD-ROM]. Punta del Este: EDITOR, 2000, 14p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S., **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana:** Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, p.318, 2011.

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

BARRA, M. **Dosagem de concretos com agregados reciclados: aspectos particulares.** In: Reciclagem na Construção Civil, alternativa econômica para Proteção Ambiental, 1997, São Paulo. Anais. São Paulo: PCC-USP, 1997, p.39-43.

BANTHIA, N.; CHAN, C. **Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete.** *Concrete International*: v. 22, n. 06, p. 41-45, 2000.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos.** Florianópolis, 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BERALDO A. L. **Compósito biomassa vegetalcimento.** In: Materiais não convencionais para construções rurais. Ed. R. D. Toledo Filho; J. W. B. Nascimento; K. Ghavami, cap. 1, 1997, p. 1-48.

BIDONE F.R.A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais; eliminação e valorização,** 2001. PROSAB 2 – ABES/RJ. p 240

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

BRINGHENTI. J. R. **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos, aspectos Operacionais e da Participação da População.** Tese de Doutorado – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRITO FILHO, JERSON A. **Cidades versus entulho.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 – Meio Ambiente, 1999.

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.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, p. 56 a 58, 2007.

CAIXINHAS, J.; CASAGRANDE JR., E.F. **Gestão integrada de resíduos para o ambiente (GIRA): uma experiência portuguesa na construção civil.** 2005. Rio de Janeiro. IAC-NOCMAT 2005. Proceedings: Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction. 2005, Rio de Janeiro. ABMTENC. p.509-520.

CAMPANA, N. A. e TUCCI, C. E. M. “**Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil.**” In: Urban Water, 3, 113-124. 2001.

CAMPANA, N. A e EID, N. J. (2003). “**Avaliação do desempenho de coberturas permeáveis no controle do escoamento superficial em áreas urbanas**”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Brasil.

CANHOLI, A, P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Ed. Oficina de textos, 2005.

CARNEIRO, F. P.; **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife.** 2005. 124f Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2005.

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

CIRIA, 1996. **Infiltration drainage – Manual of good practice.** CIRIA – Construction Industry Research and Information Association – Report 156.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente – **RESOLUÇÃO Nº 307 de 05 de julho de 2002** – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

CORDEIRO, G C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese de doutorado. Rio de Janeiro: Programa de Engenharia Civil da COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

COSTA, N.A.A. **A Reciclagem do RCD: Uma Aplicação da Análise Multivariada.** 2003. 188 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2003.

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

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão.** 3. ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997b. 3v. v.2. 219.

DACZKO, J. A. **A proposal for measuring rheology of production concrete.** Concrete International, v. 22, n. 05, p. 47-49, 2000.

DEGANI, C.M. **Sistema de gestão ambiental em empresas construtoras de Edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 2003

DELWAR, M.; FAHMY, M.; TAHA, R. **Use of reclaimed asphalt pavement as an aggregate in Portland Cement concrete**. ACI Material Journal, v. 94, n. 3, p. 251-256, 1997.

DUARTE D.; KRONKA R.; Aut 221 – Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - USP, 2006

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, DEVENNY, A.; KHALAF, F.M. **The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete**. Mansory International, 1999.

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

DIERKES, C. et al. **Pollution retention capability and maintenance of permeable pavements**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 9., 2002, Portland, Oregon. Proceedings. Portland, Oregon: American Society of Civil Engineers, 2004. p. 1-13.

DILLMANN, R. **Concrete with recycled concrete aggregate**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 239-253.

DOLARA, E.; DI NIRO, G.; CARINS, R. **RAC prestressed beams**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 255-261.

DORSTHORST, B. J. H.; HENDRIKS, CH. F. **Re-use of construction and demolition waste in the EU**. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... CD-ROM. São Paulo: CIB, 2000. 9p.

EPA, 1999. **Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement**. EPA 832-F-99-023 Office of Water, Washington, D.C.

ESIN, T.; COSGUN, N. **A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey**. Buildin HENRICHSEN, A. Use of recycled aggregate. In: International Workshop on Recycled Aggregate. Proceedings. Niigata, Japan. pp. 1-8, 2000. g and Environment, Vol. 42, p. 1667-1674, 2007.

FIGUEIRA, H. V. O., ALMEIDA, S. L. M., 2002, “**Cominuição**”. In: Luz, A. B. et al. (ed), Tratamento de minérios, 3 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, pp. 111-191.

FRAGA, F. M. **Medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

GENZ, F; TUCCI, C. E. M. **Infiltração em Superfícies Urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol. 13, n. 1, jun. 1995.

GOLDSTEIN, H. **Not your father's concrete**. Civil Engineering, v. 65, n. 5, p. 60-63, 1995.

1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160.(RILEM TC Report 6).

HANSEN, T. C.; NARUD, H. **Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate**. Concrete International, v. 5, n. 1, p. 79-83, 1983.

HENDRIKS, C. F.; PIETERSEN, H. S. **Concrete: durable, but also sustainable?** In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). **Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate**. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 1-18.

HENRICHSEN, A. **Use of recycled aggregate**. In: International Workshop on Recycled Aggregate. Proceedings. Niigata, Japan. pp. 1-8, 2000.

HONG KONG POLYTECHNICS (Department of Building and Real State); The Hong Kong Construction Association Ltda. **Reduction of Construction Waste, Final Report**, Hong Kong. March, 1993, 93p.

INOJOSA F. C. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição: a Resolução CONAMA 307/2002 no Distrito Federal**. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; www.ibge.gov.br/home, acessado em 30/05/2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Censo Demográfico de 2010 – População dos Municípios Brasileiros**.

JOHN, V.M.; CAVALCANTE, J.R. **Conclusões**. In: **Workshop Reciclagem de Resíduos como Materiais de Construção Civil**. São Paulo: ANTAC, 1996.

JOHN, V.M. **A construção e o meio ambiente**. <http://www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm>. 1998a.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102 e 120 p. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JUNGMANN, A. et al. **Building Rubble Treatment Using Alljig in Europe and USA**. Aufbereitungs-Technik, v. 38, n. 3, p. 130-138, 1997.

KARTAM, N.; AL-MUTAIRI N.; AL-GHUSAIN, I.; AL-HUMOUND, J. **Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait.** Waste Management, Vol. 24, p. 1049-1059, 2004.

LATTERZA, L. M. **Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de painéis leves de vedação.** São Carlos, 1998. 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LATTERZA, L. M.; MACHADO Jr., E. F. **Aplicação do concreto de agregado reciclado (D_{máx}= 9,5 mm) na fabricação de painéis leves de vedação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 41., 1999, Salvador. Anais... CD-ROM. São Paulo: IBRACON, 1999. Arquivo: 2-1-03, 14p.

LAURITZEN, E K. **The global challenge of recycled concrete.** In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998b. p. 505-519.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese de doutorado. Porto Alegre, Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEITE, M. B. **Avaliação do comportamento tensão-deformação de concretos reciclados submetidos à compressão axial e tração direta.** Progressão acadêmica. Feira de Santana, Departamento de Tecnologia – Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Durability of concrete produced with mineral waste of civil construction industry.** In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings. CD-ROM. São Paulo: CIB, 2000. 12p.

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

MACHADO Jr., E. F.; LATTERZA, L. M. **Resíduos de construcción y demolicion una fuente auxiliar de agregados gruesos para concretos estructurales de baja resistencia.** In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE MEJORAMIENTO Y REORDENAMIENTO DE ASENTAMIENTOS URBANOS PRECARIOS, 1997, Caracas. Anales... Caracas: [s.n.], 1997. p.277-286.

MACHADO JR., E. F.; LATTERZA, L. M.; MENDES, C. L. **Influência do agregado graúdo, proveniente da reciclagem de rejeitos de construção e demolição (entulho), na perda da abatimento do concreto fresco e nas propriedades mecânicas do**

concreto endurecido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40., 1998, Rio de Janeiro. Anais... □CD-ROM□. São Paulo: IBRACON, 1998. Arquivo:, 14p.

MACHADO Jr, E. F.; LATTERZA, L. M.; MENDES, C. L. **Influência do agregado reciclado de rejeitos de construção e demolição nas propriedades do concreto fresco e endurecido.** In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta del Este, Uruguai. Memórias... [CD-ROM]. Punta del Este: EDITOR, 2000, 13p.

MANSUR, M. A.; WEE, T. H.; CHERAN, L. S. **Crushed bricks as coarse aggregate for concrete.** ACI Materials Journal, v. 96, n. 04, p. 478-484, 1999.

MARQUES NETO. J.C; **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** São Carlos, RiMa, 2005. 162p

MAYS, L. W. (2001). **“Historical Perspectives of Storm Drainage.”** In: Mays, L. W. Storm Collection Systems Design Handbook, McGraw-Hill, EUA.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo:PINI, 2008. p128; 325 – 330 e 361-364

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C. e CARELI, E. D; **Recycling of construction and demolition waste in Brazil: 1986-2008**

MORAIS, G.M.D.; **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia; subsídio para uma gestão sustentável.** p. 26,56-60, 2006.

MUELLER, A. **Closed Loop of Concrete Rubble?** Bauhaus Universitat Weimar [notasdeaula].2007.Disponível<www.uniweimar.de/Bauing/aufber/Lehre/Gastvorlesung/Barcelona/Lecture07.pdf>. Acesso em: 15 set. 2012.

MÜELLER, A.; WINKLER, A. **Characteristics of processed concrete rubble.** In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 109-119.

MUHAMMAD, A.R.B, HOSANAH N., FARHAYU, N, HUSSIN, M.W., MOHMMAD, Md T., MIRZA, J. **Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate).** Construction and Building Materials of Journal homepage Elieser. 2013.p.1246 – 1248.

NETO, J. C. M. **Gestão dos resíduos da construção e demolição no Brasil.** São Carlos: RiMa, 2005.162 p.

NETTO, A.Z. **Pavimentação Urbana no Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Carlos – São Paulo, 1999.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Trad. Salvador E. Giamusso. Ed. Pini, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** 2002. 191 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, D.; LIMA, M.; MEIRA, G.; LIRA, R. ; PADILHA, M. **Estudo do concreto reciclado utilizando agregado miúdo reciclado: Avaliação da Resistência Mecânica.** II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa - PB – 2007.

OGWUDA, O. I.; FORDYCE, D.; UNDERWOOD, J. **Variation in particle size distribution from primary crushing of demolition waste.** In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate.* London: Thomas Telford Pub., 1998. p. 121-133.

PAGOTTO, C., LEGRET, M. e Le CLOIREC, P. (2000). **“Comparison of the hydraulic behavior and quality of highway runoff water according to the type of pavement.”** In: *Water Research*, 34 (18), 4446 – 4454.

PENG, Chun-Li; SCORPIO, D. E.; KIBERT, C. J. **Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations.** *Construction Management and Economics*, n.15,p.49-58, 1997.

PENTALLA, V. **Concrete and sustainable development.** *ACI Materials Journal*, v. 94, n. 5, p.409-416, 1997.

PIETERSEN, H. S.; FRAAY, A. L. A.; HENDRIKS, C. F. **Application of recycled aggregates in concrete: experiences from the Netherlands.** Three-Day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry. Ottawa, Canada, 1998. [S.l.: s.n.], p.131-146.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo-SP, 1999. 203 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas.** 1986.137p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PINTO, L.L.C.A. **O Desenvolvimento de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica de São Paulo, 2011.

PONTES, G.C.; **Avaliação do Gerenciamento de Construção do Recife e sua Conformidade com a Resolução n.º 307/CONAMA: Estudo de Casos,** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia – Minas Gerais. P.24 – 27.

PUCCI, R. B.; **Logística de resíduos da construção civil atendendo à resolução CONAMA 307. 2006.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

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

QUEBAUD, M. R.; BUYLE-BODIN, F. **A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. Anais... CD-RO. São Paulo: ABCP, 1999. Arquivo: 3-01, 14p.

RANVIDRARAJAH, R. S.; LOO BENG, Y. H.; TAM, C. T. **Recycled concrete as fine and coarse aggregates in concrete.** Magazine of Concrete Research, v. 39, n. 141, p. 214-220, 1987.

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

SANTOS, E.C.G.; **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. 2007.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

SALEM, R. M.; BURDETTE, E. G. **Role of chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete.** ACI Materials Journal, v. 95, n. 5, p.558-563, 1998.

SECRETARIA DO ESTADO DO AMBIENTE – RIO DE JANEIRO, disponível em <<http://www.rj.gov.br/web/sea>> acessado em 14/04/2013.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates.** Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

SCHENINI,P.C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A.C.F. **Gestão de Resíduos da Construção.** COBRAC 2004 • Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis • 10 a 14 de Outubro 2004.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. **Review of permeable pavement systems.** Institute for Infrastructure and Environment, School of Engineering and Electronics, The University of Miklas Edinburgh, William Rankine Building. Building and Environment 2007.

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

SCHUELLER, T. (1987) **“Controlling Urban Runoff”**: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs” Washington, metropolitan Washington Council of Governments.

SCHLÜTER, W., SPITZER, A. e JEFFERIES, C. (2002). **“Performance of three sustainable urban drainage systems in east scotland.”** In: Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon, EUA.

SHIMA, H. et al. **An Advanced Concrete Recycling Technology and its Applicability Assessment by the Input-Output Analysis.** Advanced Concrete Technology, Tokio, v. 3, n.1, p. 53-67, 2005.

SILVA FILHO, A.F. **Gestão dos Resíduos Sólidos das Construções Prediais na Cidade do Natal-RN**. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Engenharia de Produção, UFRN, Natal, 2005.

SILVA, G, B, L. **Avaliação Experimental sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas**. Tese (Doutorado) na Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia – Distrito Federal, 2006, 10.

SILVA, G. B. L.; MOURA, T. A. M.; KOIDE, S.; CAMPANA, N. A. **Influência de Aspectos Construtivos e de Uso na Eficiência de Revestimentos com Superfícies Permeáveis**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 14 n.1 Jan/Mar 2009, 123-134.

SILVEIRA, A,L,L. **Impactos Hidrológico em Porto Alegre**, 4º Seminário de Hidrologia Urbana e Drenagem – Belo Horizonte – ABRH – 1999.

SJÖSTRÖM, C. **Durability and sustainable use of building materials**. 8p., 1997.

SOUZA, U. E. L., AGOPYAN, V. PALIARI, J. C., ANDRADE, A. C. **Simpósio Nacional. Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: A Quebra do Mito**. Anais. São Paulo. PCC/EPUSP, 1999.

SWINK, M.L. **Tutorial on implementing concurrent engineering in new product development**. J. Operations Management, n.16, 1998. P.103-116.

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

TAVARES, L. M. M., 2004, **Processamento de recursos minerais I – Uma introdução aos aspectos teóricos e práticos da preparação de matérias-primas minerais, Rio de Janeiro: Escola Politécnica/UFRJ**, 164 p.

TAVARES, L. P. M. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

TECEDOR, N.; BAPTISTA, L.F.S.; FELIPE, M.C. BARBASSA, A.P. **Técnica Compensatória em Drenagem Urbana, Aplicadas no Compus da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos**. Anais - 5º Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FATEC – Jahu, 2013.

TÉCHNE. **Reciclagem: uso de resíduos da construção**. Revista Téchne: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Editora Pini, n.55, p. 58-61, outubro de 2001.

TENÓRIO. J.J.L.; **Avaliação de Propriedades do Concreto produzido com agregados. Reciclados de resíduos de Construção e Demolição Visando Aplicações Estruturais**. Dissertação. Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas. 2013.

TCHOBANOGLOUS G.; THEISEN H.; ELIASSEN R.; **Solid-Waste: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, 1993.

TOPÇU, I. B.; GÜNÇAN, N. F. **Using waste concrete as aggregate.** Cement and Concrete Research, v. 25, n. 7, p. 1385-1390, 1995.

TORRING, M. **Management of construction and demolition waste streams.** In: MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION – CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gävle, Sweden. Proceedings... Gävle: Kickan Fahlstedt, KTH, 1998.Symposium C., p.1911–1918.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

UDFCD. 2002. **Drainage Criteria Manual(V.3).**Structural Best Management Practices. Urban Drainage and Flood Control District, Denver. pp. S-13 – S-26.

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.** Porto Alegre-RS, 2003. 151p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIRGILIIS, A.L.C; **Procedimento de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias.** Dissertação(Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2009, p 27.

VAN ACKER,1996. **Recycling of concrete at precast concrete plant.** BIBM Paris,p 55 – 67.

URBONAS, B.; STAHRÉ, P. (1993) **“Stormwater Best Management Practices and Detention”** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil,** 2001. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acessado em 25.03.13.

ZORDAN, S.E. **A Utilização do Entulho como Agregado na Confecção do Concreto.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas. 140 p., 1997.

WELLENKAMP, F.-J., 1999, **Moagens fina e ultrafina de minerais industriais: uma revisão,** 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 56 p.

WIENS, I, K e HAMADA, J. **Gerenciamento de resíduos da construção civil – uma introdução à legislação e implantação.** Pag; 1 e 2. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

WRIGHT, L. T e HEANEY, J. P. **“Design of Distributed Stormwater Control and e- use Systems.”** In: Mays, L. W. Storm Collection Systems Design Handbook. McGraw-Hill, EUA. 2001

WOOLEY, G.R. **State of the art report use of waste materials in construction- technological development.** In: Environmental Aspects of Construction with waste Materials. Great Britain, 1994. Proceedings. Great Britain, 1994. p.963-77.